Aus dem medizinhistorischen Institut
der Universität Basel

Direktor: Prof. Dr. med. Heinrich Buess
Arbeit unter der Leitung von
PD. Dr. med. Huldrych M. Koelbing

LUIGI GALVANI
1732-1789
DER ENTDECKER DER BIOELEKTRIZITÄT

1969

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der gesamten Heilkunde
vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

von

Sergio Züllig von St. Gallen

1971

Aus dem medizinhistorischen Institut
der Universität Basel

Direktor: Prof. Dr. med. Heinrich Buess
Arbeit unter der Leitung von
PD. Dr. med. Huldrych M. Koelbing

LUIGI GALVANI
1732-1789
DER ENTDECKER DER BIOELEKTRIZITÄT

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der gesamten Heilkunde
vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

von

Sergio Züllig von St. Gallen

Von der Medizinischen Fakultät der
Universität Basel genehmigt auf
Antrag von Prof. Dr. med. Heinrich Buess.

Tag der Promotion: 28. Mai 1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Meinem Vater gewidmet.

Herrn PD Dr. Huldrych M. Koelbing danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit und für seinen Rat bei der Ausführung, Herrn Prof. Dr. Heinrich Buess für sein anhaltendes Interesse an ihrem Fortschreiten, Fräulein Victoria Saladin und Frau Dr. jur. Ingrid Tschudin-Hager von der Redaktion der ‹Documenta Geigy› für bibliographische und technische Hilfeleistungen, und schliesslich meinem Schwager, Herrn Fred Widmer für die souveräne Lösung aller Fragen, die sich bei der Drucklegung stellten.

INHALTSVERZEICHNIS

I. **Die Vorstellungen von der Nervenfunktion bis Galvani**

1) Die Pneuma- oder Spirituslehre S. 1
2) Die Nervensaft-Hypothese S. 2
3) Das Konzept der Nervenkraft S. 3

II. **Luigi Galvani**

1) Familie, Jugend und Ehe S. 6
2) Galvani als Arzt S. 7
3) Die akademische Laufbahn S. 8

III. **Galvanis Werk**

1) Kleinere anatomische und physiologische Arbeiten ; Miscellanea S. 11

2) Die Arbeiten über tierische Elektrizität und Muskelbewegung S. 16

3) Die Entdeckung der Bioelektrizität S. 18

A Vorläufer S. 18
B Die Arbeit Galvanis S. 19
a) Herkunft der tierischen Elektrizität S. 25
b) Muskelphysiologie S. 25
c) Nervenphysiologie S. 26
d) Elektrizität und Pathologie S. 26
e) Elektrotherapeutische Ideen S. 27

IV. **Die Kontroverse Galvani-Volta**

1) Alessandro Volta S. 29
2) Die Kontroverse S. 30
3) Die Kontroverse in heutiger Sicht S. 36

V. **Ausblick** S. 38

Zusammenfassung S. 41
Anmerkungen S. 42
Bibliographie S. 53

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546026_0060

I. DIE VORSTELLUNGEN VON DER NERVENFUNKTION BIS GALVANI [1]

1) Die Pneuma- oder Spirituslehre

Die ersten Gedanken über die Funktion der Nerven stammen aus dem entferntesten Altertum. Bereits im 5. Jahrhundert v. Chr. lokalisierte der Arzt *Alkmeon* von Kroton den Sitz der Empfindungen und des Verstandes nicht mehr im Herzen, wie es bis damals üblich war und später auch noch von Aristoteles getan wurde, sondern im Hirn. Die Nerven fasste er als Verbindungskanäle zwischen dem Hirn und den übrigen Körperteilen auf; sie vermittelten nach seiner Auffassung die Empfindungen und Willensimpulse. [2]

Der Vergleich der Nerven mit Leitungsrohren zog die Annahme einer in ihrer Höhlung zirkulierenden Übermittlungssubstanz nach sich. Für diese unbekannte Substanz, die zu fein war, um je sichtbar zu werden und irgendwelche fassbaren Spuren zu hinterlassen, und die sich mit Blitzesschnelle fortbewegen musste, schufen die griechischen Physiologen den Begriff des *Pneumas.* Dieser Begriff umfasst das lebenserhaltende Prinzip der Luft und das im Organismus vorhandene Substrat der Nervenfunktion und des geistigen Lebens in einem.

Galenos von Pergamon (130–200) und seine Kommentatoren bauten diese Vorstellung zur Theorie des dreifachen Pneumas aus[3], wie wir sie beispielsweise noch bei *Jean Fernel* (1497–1558) oder, in Zusammenhang mit der Entdeckung des Lungenkreislaufs, bei *Michael Servet* (um 1510–1553) dargelegt finden [4]: Der eigentliche Lebensgeist *(spiritus vitalis)* bildet sich auf geheimnisvolle Weise aus der eingeatmeten Luft und der feinsten Fraktion des Venenblutes; mit dem Arterienblut wird er allen Körperteilen zugeführt. Etwas von diesem Lebensgeist gelangt durch die schon von *Erasistratos* im 3. Jahrhundert v. Chr. postulierten, unsichtbar feinen Anastomosen zwischen Arterien- und Venensystem ins Venenblut und verleiht diesem als *spiritus naturalis* seine Vitalität; auch der Nahrung selbst entzieht das Blut etwas Spiritus. Aus dem besten und subtilsten Teil des spiritus vitalis aber bildet sich im Körper der *spiritus animalis,* mit dessen Hilfe der Mensch fühlt, denkt und will. Eine gründliche Nachprüfung und eine sachliche Richtigstellung vieler Irrtümer der galenischen Anatomie wurden von *Andreas Vesalius* (1514–1564), dem grossen Anatomen in Padua, unternommen. Er äusserte 1543 kritische Bemerkungen über die Existenz von Kanälen in den Nerven und zumal im Sehnerv. Unter dem Druck der Tradition blieb er aber bei der Auffassung, dass das Gehirn den spiritus animalis zur Sinneswahrneh-

mung und Bewegung durch die Nerven gleichsam wie über dünne Seile kontinuierlich verteilt.

Die Pneuma- oder Spirituslehre hat aber ihre Gültigkeit bis zum Beginn des 18. Jahrhunderts, als die Erforschung der elektrischen Phänomene die Möglichkeit bot, den spiritus animalis zu materialisieren, nicht ganz verloren. Die erste Andeutung, dass die Elektrizität im menschlichen Körper als wirksames Agens auftreten könnte, findet sich 1733 bei *Stephen Hales* [5] (1677–1761).

2) Die Nervensaft-Hypothese

Die Theorie des Spiritus als Vermittler der Nervenleitung befriedigt schon um die Mitte des 17. Jahrhunderts viele Aerzte nicht mehr. Man beginnt sich Gedanken über die materielle und chemische Natur jenes Pneumas zu machen, von dem die überlieferte Medizin so viel zu wissen vorgibt. Die Zweifel an der Natur und Wirkungsweise, ja an der Existenz der spiritus sind im Schrifttum der Jahre 1650–1700 überall spürbar.

Thomas Willis (1621–1675) fasst in seinem Buche "Cerebri anatome" (London 1664) die spiritus der Nerven teils als lichtartige Materie, teils als mehr oder minder flüssige Partikel auf. Sie werden im Gross- und im Kleinhirn erzeugt, treten dank der pulsatorischen Bewegung der dura mater in die Nerven ein und vermitteln Bewegung und Empfindung.

Marcello Malpighi (1628–1694), der berühmte Begründer der mikroskopischen Anatomie und Entdecker des Glomerulus renalis, stellt in seiner Schrift "De cerebri cortice dissertatio" im Jahre 1665 die Behauptung auf, dass die Hirnrinde ganz aus Drüsen aufgebaut ist, aus welchen, sozusagen als Ausführgänge, die Nerven hervorgehen. Die Gefässe der pia mater dringen in die drüsige Substanz der Gehirnrinde ein. Dort wird fortgesetzt ein flüssiger liquor vitalis bezw. ein succus nervosus abgesondert, welcher die Muskeltätigkeit mechanisch-chemisch auslösen soll. Malpighis Drüsenkonzeption, am Beispiel der Niere erhärtet und auf die motorischen Elemente des Hirns übertragen, führte ihn zu einer Ahnung der Neuronentheorie: Jeder einzelnen "sekretorischen" Einheit im Hirn musste ein einziger und eigener "Ausführgang" in Form einer Nervenfaser entsprechen [6].

Alfonso Borelli (1608–1679) leugnet in seiner im Jahre 1680/81 postum erschienenen Schrift "De motu animalium" die spiritus animales und behauptet, dass strukturmässig die Nerven keine Röhren wie die Blutgefässe sind, sondern eine markartige

Substanz enthalten. Innerhalb dieser Substanz bewegt sich ein Saft, der *succus nervosus*. Wenn eine Bewegung erfolgen soll, dann erfolgt zuerst im Gehirn eine Erschütterung, die sich über die ganze Länge der Nervenfasern bis zu den entsprechenden Muskeln fortpflanzt.

Johannes Bohn (1640–1718), ein ebenfalls zur Iatrophysik neigender Leipziger Anatom, Physiologe und Kliniker, welcher von Borelli stark beeinflusst wurde, gibt uns in seinem Buche "Circulus anatomico-physiologicus" (Leipzig 1686) eine kritische Übersicht über die damals versuchten Interpretationen des spiritus animalis. Er selber denkt sich die Nervenfunktionen etwa so, dass einerseits in den Nerven ein Fluidum in langsamem ununterbrochenem Strom den Organen zufliesst und sie ernährt. Ein Willensimpuls löst dann eine Erschütterung aus, die sich als zusätzliche, rasche Bewegung über jenes Fluidum fortpflanzt.

Johann Gottfried von Berger (1659–1756), ein kritischer Mediziner aus Wittenberg, nahm, ohne selber zu experimentieren, sehr sorgfältig zu den damals bekannten Beobachtungen und Theorien Stellung. In seiner "Physiologia medica sive de natura humana liber bipartitus" (Wittenberg 1702) erklärte er die Frage, wieso die Nerven, die doch augenscheinlich nicht hohl sind, dennoch durchgängig für den Nervensaft sein können. Er meint, genau so wie der Saft in den Bäumen aus den Wurzeln durch unsichtbar feine Kanäle aufwärts steige, werde auch der Nervensaft durch die Fasern des Hirns und der Nerven verteilt und fortgeführt. Indem er jede Annahme immaterieller Kräfte zur Erklärung der Sinnestätigkeit und Muskelbewegung verwirft, ist er wohl der konsequenteste Vertreter der Nervensaftlehre in jener Zeit.

3) Das Konzept der Nervenkraft

Die Nervensaft-Hypothese war ein erster Versuch, dem spiritus animalis der Alten ein materielles Substrat zu unterlegen. Sie beruht einerseits auf notwendigerweise lückenhaften und oft auch falschen Beobachtungen sowie auf unzureichenden physikalischen und chemischen Vorstellungen und war andererseits die Folge jener Betrachtungsweise, mit der von alters her die Humoralpathologie den Organismus als den Schauplatz von Säftewirkungen und Säfteumwandlungen zu deuten gesucht hatte.

Die ersten Ansätze zur Neuralpathologie, welche im 18. Jahrhundert zu der alten Humoralpathologie in Konkurrenz trat, finden wir bei *Friedrich Hoffmann* (1660–1742), Professor der Medizin in Halle. Nach seiner Auffassung[7] wird in der Hirnrinde ein "fluidum tenuissimum, calidum, elasticum" bereitet und durch die Nerven

(aber auch mit dem Blut) im Körper verbreitet. Von diesem unsichtbar feinen Fluidum hängen alle Funktionen des Körpers ab, im ganzen also weniger von den Säften als von den Nerven. In seiner Schrift vom Jahre 1753 "De partibus corporis humani sensilibus et irritabilibus" berichtet *Albrecht von Haller* (1708–1777) über die Ergebnisse, die er bei Hunderten von Versuchen mit chemischer, mechanischer und elektrischer Reizung an isolierten Organen oder den freigelegten Körperteilen lebender Tiere erzielt hat. Gewisse Teile des Körpers antworten auf einen Reiz mit Zusammenziehung und Bewegung, nämlich alle muskulären Organe, und zwar unabhängig vom Nerv; diese Teile haben *Irritabilität.* Demgegenüber besitzen andere Organe *Sensibilität,* das heisst, das Versuchstier zeigt bei der Einwirkung auf den betreffenden Teil Schmerzäusserungen, die als Kriterium für das Empfindungsvermögen gewertet werden. Die Sensibilität der Körperteile ist an das Vorhandensein der Nerven gebunden. Damit hatte Haller bestimmte Funktionen bestimmten Gewebsstrukturen zugeordnet: der Muskelfaser die "Irritabilität" (womit eigentlich die *Kontraktilität* gemeint war) und der Nervenfaser die Sensibilität. Für den Nerv zeigte er, dass man die Aktivität des Nervenprinzips auf seiner ganzen Bahn durch Reize provozieren konnte. Damit war die völlig passive Rolle der Nerven, wie sie die älteren Theorien angenommen hatten, in Frage gestellt, und die Existenz einer spezifischen Nervenkraft erschien am wahrscheinlichsten.

Hallers Konzeption erfuhr drei verschiedene Fortentwicklungen: in einer physiologischen, einer theoretisch-vitalistischen und einer klinischen Richtung[8]. Allen drei Richtungen ist das Bestreben, das "vitale" Vermögen der Teile oder des Gesamtorganismus stärker als bisher in den Vordergrund zu rücken, gemeinsam.

Der bedeutendste Vertreter der klinischen Richtung ist *William Cullen* (1710–1790) aus Edinburgh.

Dieser britische Kliniker generalisierte die Hallersche Sensibilität zu einer allgemeinen *Nervenkraft*. Nach ihm ist das Nervensystem der Wirkungsbereich der lebendigen Kräfte und daher Sitz aller wichtigen Lebensphänomene. Gesundheit und Krankheit beruhen auf der Tätigkeit des Nervensystems. Cullen verbindet gewissermassen die Lehren Hoffmanns und Hallers.

Cullens Schüler *John Brown* (1735–1788) behauptet sogar, dass das ganze Leben überhaupt nur auf Erregbarkeit beruht, d.h. auf der Fähigkeit des Organismus, durch Reize in den Zustand der Erregung versetzt zu werden. Allein diese Reize unterhalten den Lebensprozess; das Wechselspiel von Reiz und Erregbarkeit bedingt seine Intensität. Krankheit ist nur eine quantitative Abweichung von der normalen Intensität der Erregung nach oben oder – viel häufiger – nach unten. Diese Erregungslehre ist eine extreme Simplifikation der Grundsätze Hallers, Hoffmanns und Cullens.

Die zweite Richtung, in der Hallers Auffassung spezifischer vitaler Qualitäten weiterentwickelt wurde, ist der *Vitalismus der Schule von Montpellier,* wie ihn vor allem *Theophile de Bordeu* (1722–1776) vertrat. Auch er knüpfte überdies an die Lehren eines hallischen Mediziners an, nämlich an den *Animismus* von Hoffmanns Kollegen *Georg Ernst Stahl* (1660–1734). Für Stahl war die Seele das Prinzip, das den ganzen Organismus in Gang hielt und vor dem Verfall bewahrte, so lange sie in ihm wirkte. (Leben ist also gleich Beseelung – im Grunde ein Aristotelischer Gedanke). An die Stelle von Stahls "anima" setzte nun de Bordeu den Begriff der Natur.

Unter den Vertretern der dritten Forschungsrichtung, die von den vitalen Qualitäten Hallers ausging, nämlich der physiologischen, ist *Johann August Unzer* (1727–1799) an erster Stelle zu nennen. In seinem Buch "Erste Gründe einer Physiologie der eigentlichen tierischen Natur tierischer Körper" (Leipzig 1771) macht er Haller gegenüber klar, dass auch die *Nerven* eine eigene Reizbarkeit besitzen, die nicht identisch ist mit jener "Irritabilität" (d.h. Kontraktilität), welche nach Haller nur den Muskeln zukommt.

Sie ist aber auch nicht identisch mit dem Hallerschen Begriff der Sensibilität. Die Reizbarkeit der Nerven ist zweckmässig von der Empfindung als einem Seelenvermögen zu trennen. Jeder Nerv ist reizempfindlich, und das möge als *Nervenkraft* bezeichnet werden.

Diese Reizempfindlichkeit ist eine ursprüngliche Eigenschaft der Nerven, welche von der Verbindung mit dem Gehirn und von der Vorstellungskraft unabhängig ist. Sie entspricht dem modernen Begriff der Nervenerregbarkeit.

Georg Prochaska (1749–1820) führt Unzers Überlegungen weiter[9]. Er definiert die Nervenkraft als ein latentes Vermögen zur Reaktion auf einen Reiz und beruft sich zur Erklärung des Begriffs *Nervenkraft* (vis nervosa) auf Newton: Dieser nannte die Ursache der physikalischen Massenanziehung "vis attractiva", nachdem er ihre Wirkungen beobachtet und berechnet hatte. Prochaska verfuhr beim Nervensystem auf die gleiche Weise*. Das war der Stand der Vorstellungen von den Nervenfunktionen am Ausgang des 18. Jahrhunderts, als *Galvani* seine Entdeckung der tierischen Elektrizität verkündete und damit neue Hoffnungen weckte, dem Wesen des Nervenprinzips näher zu kommen. Aus dem "Nervensaft" war eine latente "Nervenkraft" geworden, die jedem Nervenstück innewohnt. Dank den verbesserten Mikroskopen gelang es *Felice Fontana* (1720–1805), den mikroskopischen Bau der Nervenfasern bei 70facher Vergrösserung zu beschreiben: er sah sie als einfache, durchsichtige homogene Zylinder[10]. Aus den passiven Nervenröhren war somit eine solide, plastische, zur Reizfortpflanzung fähige Faser geworden. Aber wie diese Fortpflanzung vonstatten ging, das blieb nach wie vor dunkel.

*Im medizinischen Denken war die Vorstellung, dass spezifische Kräfte die Ursachen der Lebensvorgänge seien, seit der Antike verwurzelt. *Galen* hat diese Lehre in seiner Schrift "De viribus naturalibus" dargelegt und begründet. Schon er zog zur Stützung seiner physiologischen Lehre eine Analogie aus der Physik heran: Die Kraft der Organe, das für sie Brauchbare selektiv anzuziehen (vis attractiva) setzt er der spezifischen Kraft des Magnetismus, das Eisen anzuziehen, gleich (Buch I, Kap. 14).

II. LUIGI GALVANI

1) Familie, Jugend und Ehe[11]

Luigi Galvani – die lateinische Form seines Vornamens ist Aloysius – wurde am 9. September 1737 in Bologna in seinem heute noch stehenden Haus[12] geboren. In seiner Vaterstadt hat er sein ganzes Leben verbracht. Er entstammte einer Familie, aus der bereits geistig hervorragende Männer hervorgegangen waren. *Angelo Portenari* erwähnt bereits 1623 einen grossen Theologen mit dem gleichen Vornamen und einen Rechtsanwalt Alessandro Galvani, der juristische Werke schrieb[13]. Als Professor der Rechte an den Universitäten von Ferrara, Pisa und Padua war Marco Aurelio Galvani (um 1600–1659) bekannt.

Domenico Maria Galvani, Luigis Vater, war ein geschätzter Arzt in Bologna. Seine Mutter, Barbara Caterina Francesca Galvani-Foschi, stammte aus einer alten Bologneser Familie.

Francesco Galvani, sein älterer Bruder, war ein talentierter Rechtsanwalt, der zahlreiche Schriften über Fragen des Zivilrechts verfasst hatte.

Luigi wuchs in einer Atmosphäre ruhigen Familienlebens auf, in der sich bei ihm die Liebe zum Studium ungestört entwickeln konnte. Er neigte zu Träumerei und nahm am sorglosen und ausgelassenen Treiben der jungen Studenten von Bologna nicht teil, sondern bevorzugte den Familienkreis und das stille Leben auf dem Lande. Sein Temperament war melancholisch, aber ohne misanthropischen Einschlag.

Sein Jünglingsalter widmete er neben den Studien der strengen Ausübung der katholischen Religion, der er bis zum Tode treu blieb. Er besuchte oft ein Kloster in der Umgebung von Bologna, dessen Mönche vor allem die Aufgabe hatten, den Sterbenden in ihrer letzten Stunde beizustehen. Er fand ihre Aufgabe erhaben und suchte den Gedankenaustausch mit ihnen. Er dachte sogar daran, selber in dieses Kloster einzutreten. Einer der Mönche riet ihm aber aus nicht näher bekannten Gründen davon ab und wies ihn auf seine wissenschaftliche Berufung hin.

Indessen schrieb er sich im Jahre 1752, als fünfzehnjähriger Jüngling in der "Congregazione dei Fratelli secolari dell'Oratorio Filippino" und im Jahre 1779, als reifer zweiundvierzigjähriger Mann im "Ordine dei Terziari francescani" ein.

Nachdem sich der junge Galvani zu einer weltlichen Laufbahn entschlossen hatte, konzentrierte er sich zunächst auf die damals für jeden Akademiker notwendigen humanistischen Studien und auf die Philosophie. Darauf entschloss er sich dann zum Studium der Medizin und absolvierte dieses unter der Leitung angesehener Meister wie *Giacomo Bartolomeo Beccari* (1682–1766), Professor der Medizin, und *Domenico Maria Gusmano Galeazzi* (1686–1775), Professor der Anatomie, an der Universität von Bologna. (Galeazzi hatte schon 1731 die von *Lieberkühn* (1711–1756) im Jahre 1745 erneut beschriebenen Krypten der Darmschleimhaut entdeckt).

Am 14. Juli 1759, erst zweiundzwanzigjährig, promovierte Luigi Galvani in Medizin und einen Tag später in Philosophie. Seine medizinische Doktorarbeit bestand in 20 Thesen über Struktur, Bildung und Erkrankung der Knochen. Sie wurde am 21. Juni 1762 in öffentlicher Disputation verteidigt.

Im Jahre 1760 heiratete er Lucia Galeazzi, die Tochter seines Anatomieprofessors. Er führte mit ihr während fast 30 Jahren eine völlig glückliche Ehe. Seine Frau nahm auch an seinen wissenschaftlichen Arbeiten und Entdeckungen regen Anteil. Mit ihrer Intelligenz, Kultur und Liebenswürdigkeit war sie ihm eine grossartige Lebensgefährtin. Sie half ihm über die Stunden des Zweifels und der Entmutigung hinweg; bei ihr fand er neue Zuversicht. Über die Enttäuschungen, die sich nach seinen ersten Erfolgen einstellten, konnte er nur dank der ausgeglichenen Atmosphäre seiner Ehe hinwegkommen. Aber am 30. Juni 1790 erst siebenundvierzigjährig, starb Lucia Galvani-Galeazzi. Es war für Galvani ein Schmerz, den die Zeit nicht zu heilen vermochte. Ihr Grab befindet sich im Kloster der Corpus-Domini-Schwestern zu Bologna; ihr Mann widmete ihr eine schöne und rührende lateinische Grabschrift.

2) Galvani als Arzt

Nach der Promotion zum Doktor der Medizin praktizierte Galvani zuerst als Arzt und Chirurg – wobei zu betonen ist, dass damals die Chirurgie der Medizin noch nicht gleichgestellt war – an den Krankenhäusern seiner Vaterstadt. Gleichzeitig beschäftigte er sich mit anatomischen Forschungen.

Er war Arzt aus Berufung und übte seinen Beruf nicht in ersten Linie aus, um Geld zu gewinnen, sondern als Dienst am Mitmenschen. Selbstlos behandelte er auch die ganz Armen[14]. Wenn die Krankenbesuche zu zahlreich waren und die Zeit zu knapp, ging er zuerst zu den Armen – mit der Begründung, dass die Reichen das nötige Geld hätten, um sich andere Ärzte zu leisten. Manchmal betätigte er sich sogar als Krankenpfleger; weder vor den grössten Verletzungen noch vor den niedrigsten Spi-

talarbeiten schreckte er zurück.

Sein Talent als Chirurg und Geburtshelfer war gross. Das Studium der Physiologie und der Physik interessierte ihn nur im Hinblick auf den möglichen Nutzen für die Medizin. Trotz seiner grossen experimentalwissenschaftlichen und literarischen Tätigkeit sowie zahlreicher öffentlicher Verpflichtungen fand er immer noch die nötige Zeit, um sich dem praktischen Arztberuf zu widmen.

Die drei Leitgedanken seines Lebens waren: Pflege der Wissenschaft, Achtung der Religion und Liebe zur Vaterstadt. In ihnen sah er die Voraussetzung, um guter Arzt und Bürger zu sein.[15]

3) Die akademische Laufbahn

Luigi Galvanis Leben war reich an akademischen Ämtern und Ehren. Er wirkte sowohl an der Universität Bologna (auch Archiginnasio genannt) wie an der Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna[16].

Die Universität ernannte ihn schon kurz nach seiner Promotion zum "Lector de rebus medicis", dann (1763) zum Lektor für chirurgische Operationen, allgemeine Chirurgie und anatomische Theorie. Erst 1768 wurde er jedoch zum "Stipendario" befördert und bezog damit erstmals ein Gehalt für seine Lehrtätigkeit an der Universität. Ein Jahr lang dozierte er nun praktische Medizin, dann wurde er zum "Aggiunto" seines Schwiegervaters, des Anatomen *Galeazzi* ernannt. Nach dessen Tod (1775) folgte er ihm, im Alter von 38 Jahren, auf dem anatomischen Lehrstuhl nach.

An der Akademie der Wissenschaften des Istituto di Bologna finden wir Galvani 1766 als Kustos der anatomischen Präparate mit dem Status eines "membro pensionato"; er hatte auch Demonstrationen für Chirurgen, Maler und Bildhauer durchzuführen. 1772 wurde er zum Präsidenten der Akademie gewählt. 1782 ernannte der Senat von Bologna den vielseitigen Gelehrten und geschätzten Praktiker zum Professor der Geburtshilfe am Istituto; er trat von seiner Professur an der Universität und von dem Kustodenamt bei der Akademie zurück, veröffentlichte aber während der 16 Jahre seiner geburtshilflichen Professur keine Schriften aus diesem Gebiet.

Galvani gehörte auch als "Consigliere degli Studi" dem Collegio di Medicina an, welches die Kandidaten der Medizin zu prüfen und die Berufsausübung der Ärzte zu überwachen hatte.

Elegante Ausdrucksweise, pädagogische Klarheit, Logik und Genauigkeit waren die Gründe für Galvanis Erfolge als Dozent. Die theoretischen Vorlesungen ergänzte er oft und gern mit neurophysiologischen Versuchen, welche bei den Studenten grosses Interesse weckten[17].

Galvani fing nie seine Vorlesungen an, ohne seine Schüler aufzufordern, sich tugendhaft zu benehmen. Als gewissenhaft praktizierender, von seinem Glauben tief durchdrungener Katholik fühlte er sich verpflichtet, seine Studenten auf die überragende Wichtigkeit eines moralisch einwandfreien Lebens immer wieder hinzuweisen.

Er gab auch bei sich zu Hause spezielle Vorlesungen, bei welchen anatomische Demonstrationen an Leichen stattfanden, wegen der damaligen volkstümlichen und religiösen Vorurteile ein noch eher seltenes Ereignis.

Am 19. Juni 1796 wurde Bologna von den Franzosen besetzt, und am 16. Oktober 1796 entstand die Repubblica Cispadana. Sie dauerte nur bis zum Juli 1797, als nach dem Friedensschluss von Campo Formio die Repubblica Cisalpina verkündet wurde; dieses Staatsgebilde von Napoleons Gnaden hatte aber auch nur bis zum Zeitpunkt der vorübergehenden österreichischen Besetzung (1799–1800) Bestand.

Am 26. Ventoso des Jahres VI der französischen Republik, also im März 1798, verpflichtete die Repubblica Cisalpina die Professoren der Universität, den Schwur auf die neue Verfassung zu leisten. Die Formulierung des Eides war voll Feindseligkeit gegenüber der Religion, ja eine richtige Atheismus-Erklärung in getarnter Form. Das Gesetz verlangte die Abdankung derjenigen Dozenten, die sich weigerten, in aller Form den Eid zu leisten.

Galvani war nicht gesonnen, diesen Schwur als einfache Formalität zu betrachten und fand das neue Gesetz in Widerspruch zu seiner politischen und religiösen Überzeugung. Aus diesen Gründen verlangte er, dass in einer Randbemerkung hinzugefügt werde, er dürfe nach abgelegtem Schwur seine Verpflichtungen gegenüber der katholischen Kirche weiter erfüllen. Dieses Begehren wurde abgeschlagen. Galvani weigerte sich mit anderen Kollegen – den Professoren *Sacchetti, Uttini* und *Tambroni* unter anderen – den Eid zu leisten, trotz wiederholten grossen Anstrengungen, ihn dazu zu bringen. Lieber verlor er seinen Lehrstuhl, als dass er seine Überzeugung preisgegeben hätte.

Am 20. Fiorile des Jahres VI (Mai 1798) zog er sich zu seinem Bruder Giacomo in das väterliche Haus in Bologna zurück; am Anfang des gleichen Monats hatte er seinen Lehrstuhl der Geburtshilfe im Istituto aufgegeben[18]. Er war ohne Stelle, fast ohne Geld – seine Grosszügigkeit und seine Geldverachtung hatten ihn fast um sei-

nen ganzen Reichtum gebracht -- und in schlechten Gesundheitszustand.

Mit Rücksicht auf seinen Ruhm und infolge der Bemühungen seiner Mitbürger und seines Neffen *Giovanni Aldini* (1762–1834) wurde Galvani immerhin von der Regierung der Repubblica Cisalpina zum "Professore emerito giubilato" ernannt. Dieser Titel berechtigte ihn zum Bezug der Alterspension ab 1799. In den Genuss dieser Gunst kam er leider nicht mehr. Voll Trauer über den Verlust ihm nahe stehender Menschen und von einem schmerzhaften Magenleiden gequält, verbrachte Galvani die letzten Monate seines Lebens.

Am 4. Dezember 1798 starb Luigi Galvani in seinem 61. Lebensjahr im gleichen Haus, wo er geboren worden war. Er wurde seinem letzten Wunsch entsprechend im Kloster der Corpus-Domini-Schwestern Bolognas neben seiner Frau in einfacher Weise beigesetzt. Ganz Europa trauerte um ihn.

III. GALVANIS WERK

1) Kleinere anatomische und physiologische Arbeiten; Miscellanea

Galvanis Schriften sind uns teils gedruckt, teils als Manuskript überliefert. Der handschriftliche Nachlass wurde der Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna von Galvanis Neffen Giovanni Aldini im Jahre 1838 testamentarisch vermacht.

Ein Teil der Manuskripte sowie alle schon veröffentlichten Denkschriften erschienen 1841/42 gesamthaft im Druck, und zwar in einem von der Akademie besorgten Band. Diese Ausgabe enthält ausserdem einen Bericht *(Rapporto)* über das handschriftliche Werk, der von *Silvestro Gherardi* (1802–1879), Professor der Physik in Bologna, verfasst wurde, und eine Lobrede *(Elogio)* Galvanis von *Giuseppe Venturoli* (1768–1846) (vgl. Op. cit. sub. Nr. 17).

Im Jahre 1937 wurde in Bologna von *Licinio Cappelli* eine Sammlung der noch unveröffentlichten Schriften Galvanis als Ergänzung zum vorhergehenden Band in Druck gegeben[19].

Die erste gedruckte Veröffentlichung Galvanis ist seine bereits erwähnte Promotionsdissertation "De ossibus [20]" (siehe Seite 7). Am 14. Januar 1762 trug er der Akademie die siebzehnte These daraus vor, die sich mit dem Problem der Callusbildung in den frakturierten Knochen beschäftigt. Galvani äussert in ihr seine Überzeugung, dass dieser Prozess vom Periost ausgeht und durch die Ernährung kaum beeinflusst werden kann.

Die dreizehnte These berichtet über die färbende Wirkung des Krappwurzelfarbstoffes (Krapprot) auf die Knochen und Weichteile der Hühner und anderer Tiere, die den Krapp (Rubia) verspeist haben[21].

Galvani behauptet, dass die *Knochenentwicklung* aus dem Periost durch die sukzessive Bildung von mehreren knöchernen Schichten (laminae osseae) ausgeht.

Die experimentelle Verfolgung dieses Vorganges wurde ihm dank der roten Färbung der Tierknochen, die das mit der Nahrung zugeführte Krapprot absorbiert hatten, ermöglicht.

Die freie Zeit, welche ihm seine Verpflichtungen als Dozent und frei praktizierender

Arzt übrigliessen, widmete Galvani grösstenteils dem Studium der *vergleichenden Anatomie.* Er war überzeugt, dabei auch genauere Kenntnisse über die Funktionen des menschlichen Körpers zu gewinnen.

Obwohl sein unvergänglicher Ruhm als Physiologe und Physiker seine beträchtlichen Verdienste als Anatom in den Schatten stellte, hätten seine morphologischen Forschungen an sich schon genügt, um ihm Rang und Geltung zu sichern.

Im Jahre 1767 veröffentlicht er die lateinische Schrift "De renibus atque ureteribus volatilium"[22]. Sie enthält eine Beschreibung der *makro- und mikroskopischen Anatomie der Nieren und der Ureteren der Vögel.*

In dieser Arbeit beschreibt Galvani zum ersten Mal die drei Membranen der Harnleiterwände sowie die peristaltischen und antiperistaltischen Bewegungen der Harnleiter[23].

Die Nierentubuli waren bereits im 16. Jahrhundert von Eustachius (+1574) entdeckt worden[24], aber die Nachwelt benannte sie nach *Lorenzo Bellini* (1643–1704), der sie fast hundert Jahre später aufs neue beschrieb und dabei feststellte, dass "sie bis zur äussersten Oberfläche der Nieren ziehen". Erst jetzt drang die Tatsache ins Bewusstsein, dass die Niere zu einem grossen Teil aus eng zusammengedrängten Kanälchen besteht.

Vier Jahre nach der Veröffentlichung des Werkes Bellinis entdeckte *Marcello Malpighi* (1628–1694) im Jahre 1666 den zweiten Hauptbestandteil des Nephrons: den Glomerulus.

Zwei Errungenschaften der anatomischen Arbeitstechnik ermöglichten diese Entdekkung: die Benutzung farbiger Flüssigkeiten zur Hervorhebung der Gefässe und die Anwendung des Mikroskopes, welches freilich erst eine sechzehnfache Vergrösserung erlaubte[25].

Beinahe zwei Jahrhunderte hindurch erfuhr die von Eustachi, Bellini und Malpighi eingeleitete "Eroberung des Nephrons" eine beträchtliche Verzögerung. Während dieser langen Zeit wird das Nephron wieder wie zu allererst tubulär aufgefasst. Der grösste Teil der Forscher misst den Malpighischen Körperchen bei der Harnbildung keine Bedeutung bei, oder stellt sie zum mindesten in den Hintergrund. Man bemüht sich, neue Beweise für die Verbindung zwischen Harnkanälchen und Blutgefässen zu finden. Dem holländischen Anatom *Frederik Ruysch* (1638–1731) ist wohl die hauptsächliche Verantwortung für diese Orientierung zuzuschreiben: er fasste die Malpighischen Körperchen als kleine Gefässknäuel – "glomeres vasculosi" – auf, die mit der Harnabsonderung an sich nichts zu tun hatten. Das Ende des sich bildenden Arterienzweiges sollte sich in eine kleine Vene und ein Harnkanälchen teilen:

die Wand der Arteriole verwandelt sich allmählich – sie "degeneriert" – zur Wand des Harnkanälchens. Ruysch glaubte, dass die von ihm in die arteria renalis eingespritzten Flüssigkeiten bis in das Lumen der Harnkanälchen (die er wahrscheinlich mit den injizierten Arteria rectae verwechselte) eindringen könnten.[26]

Luigi Galvani erbrachte in "De renibus atque ureteribus volatilium" den bedeutendsten experimentellen Befund, mit dem sich Ruyschs Theorie stützen liess. Er unterband bei Hühnern intra vitam die Harnleiter und beobachtete, dass sich das durch die Stauung erweiterte Lumen der Harnkanälchen mit einem gipsartigen Niederschlag füllte. Die derart "ausgegossenen" Tubuli schienen ihm direkt aus den zentrolobulären Arterien hervorzugehen. Das imposante Phänomen beruht auf dem Umstand, dass der Harn der Vögel als wichtigstes Ausscheidungsprodukt nicht Harnstoff sondern Harnsäure enthält, die schwer löslich ist und leicht auskristallisiert.

Am 19. Februar 1767 trägt Galvani seine lateinische Dissertation "Disquisitiones anatomicae circa membranam pituitariam" in der Akademie vor. Sie enthält eine Beschreibung des feinen Gewebes der *Nasenschleimhaut* beim Menschen und bei verschiedenen Tierarten und ihrer Introflexion in die Kieferhöhlen sowie eine genaue Beschreibung der besonderen Tubercula, die im unteren Teil der Scheidewand und im vorderen Teil der unteren Muscheln liegen[27]. Seine Beobachtungen über die Anatomie der Nase bestätigen diejenigen *Johann Jakob Wepfers* (1620–1695), vom Jahre 1658, *Conrad Viktor Schneiders* (1614–1680) vom Jahre 1661 und *Richard Lowers* (1631–1691) vom Jahre 1670, die im Gegensatz zu den alten Vorstellungen bewiesen hatten, dass unser Geruchsorgan kein Physiologischer Reinigungskanal (emunctorium) der Schädelhöhle sein kann, weil die beiden Hohlräume nicht miteinander in Verbindung stehen[28].

Während der Jahre 1768–1771 teilt Galvani der Akademie wichtige Feststellungen mit, die er bei seinen Versuchen über die *Gehörorgane* der Vögel, Säugetiere und des Menschen gemacht hat. Diese Mitteilungen waren aber nur die Vorläufer eines Werkes, das er über die Anatomie des Ohres zu schreiben begonnen hatte. Unter den Hörern befand sich auch *Antonio Scarpa* (1747–1832), der im Jahre 1772 zum Professor der Anatomie an der Universität Modena ernannt wurde. Im gleichen Jahr publizierte Scarpa ein Werk "De structura fenestrae rotundae auris et de tympano secundario observationes", ein Plagiat der Entdeckungen Galvanis, das ihn berühmt machen sollte und in dem er hemmungslos die Resultate des Professors aus Bologna als seine eigenen Feststellungen mitteilte. Scarpa hatte von der Tatsache profitiert, dass die damals sehr langsamen Druckarbeiten die Veröffentlichung des vorgesehenen Werkes Galvanis verzögert hatten. Das Benehmen Scarpas verursachte einen richtigen Skandal, der in mehreren italienischen Universitäten Widerhall fand und zu einer heftigen Polemik zwischen den Anhängern Galvanis und Scarpas führte. In dieser Pole-

mik verhielt sich Galvani sehr grosszügig und konziliant und versuchte, die Gemüter seiner Anhänger zu beruhigen. Obwohl er die öffentliche Anerkennung seines wissenschaftlichen Talentes liebte, dachte er, die Wahrheit entdeckt zu haben sei so beglükkend, dass der Entdecker keiner weiteren Genugtuung bedürfe[29]. Er verzichtete auf die Abfassung eines ausführlichen Werkes über das Gehörorgan der Vögel und beschränkte sich auf eine Antwort an Scarpa, die erst im Jahre 1783 in Form einer kurzen Abhandlung "De volatilium aure" stattfand[30].

Als erster stellt er darin das Vorhandensein eines knöchernen Labyrinths fest, das sowohl zum Schneckenfenster als auch zum Vorhoffenster führt. Er nennte es Antivestibulum.

Die mechanischen, chemischen und elektrischen Reizmethoden, mit welchen *Albrecht von Haller* Muskelzuckungen ausgelöst hatte, veranlassten Galvani zur Abfassung einer lateinischen Dissertation über die Hallersche Irritabilität (vgl. S. 4 f.). Sie wurde der Akademie seiner Stadt am 9. April 1772 vorgelesen[31].

Am 22. April 1773 und am 20. Januar 1774 las er der Akademie zwei weitere lateinische Vorträge über die "Muskelbewegung der Frösche[32]" und die "Wirkung des Opiums"[33] auf die Froschnerven vor.

In den drei letztgenannten Schriften bemühte sich Galvani, seine Befunde in Übereinstimmung mit der damals modernen Brownschen Theorie, die in Kapitel I bereits erwähnt wurde (vgl. S. 4 ff.) zu bringen. Er bewies damit sehr deutlich *sein grosses Interesse für die experimentelle Physiologie der Nerven und Muskeln* bereits bevor ihn 1780 der Zufall zur Entdeckung der Bioelektrizität führte.

Vom Jahr 1775 stammt ein Manuskript Galvanis, welches seine Äusserungen zu einer in der Provinz Bologna ausgebrochenen *Viehseuche* enthält und uns sein Interesse für die Tierheilkunde offenbart[34].

Am 3. April 1777 und am 23. April 1778 liest er der Akademie zwei lateinische Dissertationen über verschiedene eigene Versuche in Bezug auf die Tätigkeit des *Herzens* und auf die Art und Weise, wie man diese bei Kaltblütlern zum Stillstand bringen kann, vor. Er löste beim Frosch einen reflektorischen Herzstillstand aus, indem er das Rückenmark durch einen Nadelstich oder einen kleinen Längsschnitt verletzte. Galvani nannte dieses Phänomen der Inhibition (welches durch einen Vagus-Effekt zu erklären ist) ein Zauberwerk (un incantesimo)[35]. Es wurde erst 1845 durch die beiden Brüder *Ernst Heinrich Weber* (1795–1878) und *Eduard Friedrich Wilhelm Weber* (1804–1891) wieder demonstriert, die sich dazu der elektrischen Reizung des Rückenmarkes und des Vagus bedienten[36].

Im Jahre 1777, bei der Eröffnung der Stanza anatomica des Istituto delle Scienze von Bologna, hält Galvani die höchst bedeutende "De manzoliniana supellectili oratio", welche uns sein Talent als beredter Sprecher offenbart. Die Stanza oder Camera anatomica enthielt die schönsten anatomischen Wachsfiguren der hervorragenden Bologneser Anatomin *Anna Manzolini* geb. *Morandi* (1716–1774), Professorin der Anatomie an der Universität Bologna und sachverständige Herstellerin anatomischer Figuren in Wachs, derer sich Galvani im Laufe seiner Vorlesungen bedient hatte[37].

1779 und 1781 trägt er der Akademie auch zwei Abhandlungen über *Katarakt* vor[38] Vom 2. März 1780 und vom 30. April 1789 datieren zwei weitere lateinische Schriften über die "Wirkung der künstlichen Elektrizität auf die Muskelbewegung"[39] und über die "tierische Elektrizität"[40]: zwei Vorboten seines Meisterwerkes, das im nächsten Abschnitt ausführlich zur Sprache kommen wird.

Von 1782 bis 1797 hielt er elf lateinische Reden[41], die er den Doktoranden anlässliche der Schlussfeier widmete. Zwei dieser Reden sind seinen Neffen *Giovanni Aldini* (25. November 1782) und *Lodovico Galvani* (16. Dezember 1797) gewidmet.

Die Giovanni Aldini, dem zukünftigen Physik-Professor in Bologna, bei seiner Promotion zum Dr. med. gewidmete Rede enthält viele hervorragende Ratschläge, welche man, zusammenfassend, als ein *Vademecum des guten Arztes* definieren kann[42]. Er empfiehlt seinem Neffen auch weiterhin unablässiges Studium, grossen Fleiss und tiefes Nachdenken, ferner die richtige Einstellung gegenüber den Patienten: man muss sie mit Güte und Liebe behandeln; darf ihnen aber nie zu leicht die Heilung oder den nahen Tod voraussagen. Das wird dem behandelnden Arzt einerseits helfen, unklare Krankheiten besser zu verstehen und andererseits die Gefahr zu vermeiden, bei den Patienten in Misskredit zu geraten. Nach diesen praktischen Ratschlägen bekennt er sich einmal mehr zu den Leitgedanken seines Lebens: dem Dienst der Wissenschaft, der Vaterlandsliebe und der Religion.

Während der Jahre 1783 bis 1788 liest Galvani der Akademie fünf lateinische Dissertationen vor, welche über die Beziehungen zwischen der Luft und den verschiedenen sie enthaltenden Körperteilen berichten. Sie sind eine gründliche *chemische Analyse sämtlicher fester und flüssiger Körperteile* und enthalten unter anderem eine der ersten Mitteilungen über die Existenz von Eisenspuren im Blut und in der Milch[43].

Vom 6. April 1786 datiert die gedruckte Dissertation "De consensu et differentiis inter respirationem et flammam penicillumque electricam prodiens ex acuminato conductore Leydensis phialae de industria oneratae"[44].

Es handelt sich um ein vergleichendes Studium *des elektrischen Funkens, der ge-*

wöhnlichen Flamme und der Atmung der Tiere. Galvani kommt dabei zur Annahme, dass allen drei Vorgängen etwas Gemeinsames vorliege: *das elektrische Fluidum.*

Seine Tätigkeit auch im Bereich der *Chemie* beweist schliesslich eine am 5. November 1789 der Akademie vorgelesene Denkschrift "De aeriformibus principiis Thermarum Porrectanarum" [45].

Von 1791 datieren in Galvanis Nachlass seine meteorologischen Beobachtungen in Bezug auf die wetterbedingten Krankheiten. (Osservazioni meteorologiche, in quadri sinottici, congiunte a quelle delle malattie contemporaneamente dominanti.) [46] Sie sind ein aufschlussreiches Werk, in welchem die Zusammenhänge zwischen Krankheiten und Meteorologie studiert werden.

2) Die Arbeiten über tierische Elektrizität und Muskelbewegung

Die erste Veröffentlichung seines Meisterwerkes "De viribus electricitatis in motu musculari commentarius" stammt aus dem Jahr 1791 und bildet einen Teil der "Commentarii" der Akademie [47].

Das gewaltige Erstaunen, das der Inhalt dieser Denkschrift bei ihrem ersten Erscheinen in der gelehrten Welt verursachte, wird von *Emil du Bois-Reymond* (1818–1896), dem berühmten deutschen Physiologen, in folgenden Worten geschildert: "Der Sturm, den das Erscheinen des Commentars in der Welt der Physiker, der Physiologen und Ärzte erregte, kann nur dem verglichen werden, der zu derselben Zeit (1791) am politischen Horizont Europas aufzog." [48]

Eine zweite Auflage des Commentarius erschien ein Jahr nach der ersten in Modena [49]. Als Beilage waren mitgedruckt eine Dissertation und einige Anmerkungen von *Giovanni Aldini.*

Im Jahre 1792 erschien ebenfalls im Druck eine Zusammenfassung (Trasunto) der gleichen Arbeit in italienischer Sprache: im wesentlichen nur die italienische Übersetzung der wichtigsten Teile der lateinischen Abhandlung Galvanis. Obwohl sie gewöhnlich zu den Schriften Galvanis gezählt wird, ist sie mit "S" gezeichnet und wird *Lazzaro Spallanzani* (1729–1799), Professor für Naturgeschichte an der Universität Pavia, zugeschrieben. [50]

Der vollständige Text von "De viribus electricitatis" erschien in einer deutschen Übersetzung von Johann Mayer in Prag, unter Beigabe von Aufsätzen *Eusebio Vallis*. (1755–1816), *Bassiano* (1750–1830) und *Voltas*[51]. Im Jahr 1894 wurde eine neue deutsche Fassung des Meisterwerkes Galvanis von *Arthur Joachim von Oettingen* verfertigt und in Leipzig gedruckt.[52]

Ein Neudruck der Modenaer Ausgabe von 1792 erschien im Jahre 1925 zu Berlin [53]. Die erste französische Übersetzung erschien erst im Jahre 1939 in der Promotionsdissertation des französischen Arztes *Marc Sirol* [54]. Die erste Übersetzung ins Englische wurde im Jahre 1953 herausgegeben [55].

Als Bestätigung und Ergänzung seiner grundlegenden Abhandlung las Galvani am 1. März 1792, am 18. April 1793 und am 26. März 1795 der Akademie drei lateinische Vorträge über tierische Elektrizität vor. Sie sind eingeschmolzen in den Traktat "Dell' uso e dell'attività dell'arco conduttore nelle contrazioni dei muscoli"[56], in dem "Supplemento al Trattato" [57] (welche 1794 anonym erschienen aber mit Grund Galvani zugeschrieben werden[58]) und in die 1797 erschienenen fünf "Memorie sull' elettricità animale al celebre Abate Lazzaro Spallanzani"[59].

Diese zwei letztgenannten Werke enthalten wichtige Ergänzungen zu den Ausführungen im Commentarius und weitere Versuchsergebnisse.
Vom Jahr 1795 datiert das Notizbuch (Taccuino)[60] über seine Untersuchungen der elektrischen Vorgänge beim Zitterrochen, die er an der Adria unternommen hatte. Trotz seines schlechten Gesundheitszustandes hatte sich Galvani im Mai 1795 zu diesem Zweck nach Rimini und Senigallia begeben, um an Ort und Stelle seine Beobachtungen über die elektrischen Fische auszuführen.
Am 11. Februar 1796 privatim und am 6. Juni 1796 halböffentlich verlas Galvani der Akademie einen lateinischen Vortrag über seine Reise an die Adria und seine Untersuchungen. Er legte ihn auch in der fünften der vorhin erwähnten "Memorie sull" eletricità animale an Lazzaro Spallanzani" schriftlich nieder[61].
In diesem Bericht versucht er, aufgrund der Struktur der elektrischen Fische die Existenz einer biologischen elektrischen Säule zu beweisen, analog der metallischen Säule Voltas.
Am 27. April 1797 wird der Akademie seine lateinische Dissertation über die Wirkung der üblen Ausdünstungen (Mephitioles) aus schwefelhaltigem Sumpfwasser auf den tierischen Körper vorgelesen[62].
Sie berichtet über die Versuche Galvanis mit künstlicher Elektrizität an Tieren, welche zur Ausschaltung der Schmerzempfindung mit solchen Mephitioles narkotisiert wurden.

Vom 19. April 1798 datiert eine der Akademie vorgelesene lateinische Schrift über die Wirkung des Opiums auf die Muskelbewegung. Über diese unveröffentlichte Arbeit weiss man nichts Näheres [63].

Seine "Deduzioni sintetiche sull'elettricità animale", welche das Datum vom 7. Juli 1798 tragen, enthalten seine letzten elektrophysiologischen Ideen und sind sein letztes fünf Monate vor seinem Tode abgefasstes Manuskript. [64]

3. Die Entdeckung der Bioelektrizität

A Vorläufer

Einige Wissenschaftler hatten bereits vor der Entdeckung der Bioelektrizität galvanische Phänomene beobachtet. Diese Beobachtungen wurden aber ohne weiterführende Überlegungen gemacht und verloren damit ihre Wichtigkeit. *Jan Swammerdam* (1637–1680) beschreibt in seiner erst 1737 veröffentlichten "Biblia naturae" [65] einen im Jahre 1658 ausgeführten Versuch, mit dem er beweisen wollte, dass ein kontrahierter Muskel weniger Raum einnimmt als ein entspannter. Bei dem sich in einem zylindrischen Glasrohr befindlichen Muskel, der in Kontakt mit einem Kupferstück stand, löste er eine Zuckung aus, indem er den entsprechenden motorischen Nerv mit einem Silberdraht versah und den Kontakt zwischen Kupfer und Silber herstellte.

Johann Georg Sulzer (1720–1779), Professor der Philosophie in Berlin, beschreibt 1752 die Tatsache [66], dass zwei aus Blei und Silber bestehende Scheiben, wenn sie in Kontakt gebracht und dann an die Zunge gelegt werden, eine Geschmacksempfindung hervorrufen. Den dabei empfundenen eisenvitriolähnlichen Geschmack führte er auf die Schwingungen der Metallteilchen zurück, die nach seiner Annahme an der Kontaktstelle der vereinigten Metalle entstanden. Diesen zweifellos als galvanisches Phänomen aufzufassenden Versuch analysierte Sulzer nicht weiter. Er begnügte sich damit, ihn als Kuriosum zu erwähnen, denn es ging ihm bloss darum, unsere verschiedenen angenehmen und unangenehmen Empfindungen philosophisch zu deuten.

Domenico Cotugno (1736–1822), Professor der Anatomie in Neapel, berichtete im Jahre 1786 folgendes: Ein Student, der eine lebende Ratte sezierte, verspürte eine leichte Erschütterung, sobald er den Nervus phrenicus des Tieres mit der Messerspitze berührte. Sie war der von einer elektrischen Entladung verursachten Erschütterung ähnlich [67].

John Hunter (1728–1793), englischer Chirurg und Physiologe, beobachtete nach

Cotugno folgendes Phänomen: wenn man ein Zinkstück unter die Oberlippe und ein Goldstück unter die Zunge legt und sie dann in Kontakt bringt, entsteht die Empfindung eines sich auf das ganze Gesicht erstreckenden Blitzes [68].

B Die Arbeit Galvanis

Die "Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität bei der Muskelbewegung" – "De viribus electricitatis in motu musculari commentarius" – die, wie im vorhergehenden Abschnitt bereits erwähnt, im Jahre 1791 veröffentlicht wurde, ist Galvanis Meisterwerk.

Sie verkündet die Entdeckung einer neuen Form von Elektrizität, die körpereigen ist und von äusseren Quellen nicht abhängt. Mit einem modernen Wort bezeichnet man sie als *Bioelektrizität.* Sie war die Krönung einer elfjährigen Forschungsarbeit.

Die Manuskripte Galvanis sowie die gute mündliche Tradition Bolognas über die Pionierzeit des Galvanismus lassen vermuten, dass die allerersten Beobachtungen Galvanis über die Wirkung der Entladungen einer Elektrisiermaschine auf Froschschenkel schon im späten Sommer des Jahres 1780 stattgefunden haben [69].
Die ersten in den Manuskripten erwähnten Versuche datieren zwar von 6. November 1780, aber Galvani spricht dabei bereits von "nach der gewöhnlichen Art präparierten Fröschen" (rane preparate alla solita maniera)[70]. Diese Forschungen setzte er während der Jahre 1780 bis 1783 fort. In seinem Nachlass datiert die letzte Aufzeichnung eines Versuchs an Froschschenkeln mit künstlicher Elektrizität vom 14. Februar 1783 [71].

Vom 26. April bis zum 16. September 1786 untersucht er die Wirkung der natürlichen Elektrizität der Atmosphäre auf Froschschenkel [72].

Am 20. September 1786 fanden die ersten Experimente mit dem Metallbogen statt. Die Aufzeichnungen über die an jenem Tage und dann bis zum 20. Oktober 1786 gemachten Experimente sind in den Heften von je fünf Bogen verzeichnet, auf deren Titelseite "Esperimenti circa l'elettricità dei metalli" steht [73].
Die Diskussion über jene Experimente trägt am Kopf das Datum des 30. Oktober 1786 und auf ihrem Umschlag die Angabe "De animali electricitate" [74]. Am 30. April 1789 liest er der Akademie Bolognas die bereits erwähnte lateinische Dissertation "De musculorum motu ab electricitate" vor. (vgl. S. 15)[75].

Die Abhandlung selbst erschien erst elf Jahre nach Beginn dieser Versuche: eine

lange Reifungszeit. Sie besteht aus vier Teilen:

1) Die Kräfte der künstlichen Elektrizität bei der Muskelbewegung.
2) Die Kräfte der atmosphärischen Elektrizität bei der Muskelbewegung.
3) Die Kräfte der tierischen Elektrizität bei der Muskelbewegung.
4) Hypothesen und Schlussfolgerungen.

Am Anfang des *ersten Teiles* drückt Galvani zuerst die Hoffnung aus, dass seine Entdeckung dazu dienen werde, die verborgenen Kräfte der Nerven und Muskeln klarzulegen und ihre Krankheiten gründlicher zu heilen. Den Erfolg seiner Forschung verdanke er teilweise dem glücklichen Zufall, teilweise seinem Fleiss und seiner Mühe.

Danach erzählt er, wie seine erste zufällige Beobachtung über die *Wirkung der künstlichen Elektrizität auf das Nerv-Muskel-Präparat eines Forschschenkels* zustande kam, als er zusammen mit einigen seiner Schüler im Labor Versuche über die Irritabilität der Froschmuskeln ausführte [76]:

"Die Sache fing so an. Ich sezierte einen Frosch und präparierte ihn und legte ihn, mich alles anderen versehend, auf einen Tisch, auf dem eine Elektrisiermaschine stand, weit von deren Konduktor getrennt und durch einen nicht gerade kurzen Zwischenraum geschieden. Wie nun der eine von den Leuten, die mir zu Hand gingen, mit der Spitze des Skalpellmessers die inneren Schenkelnerven des Frosches zufällig ganz leicht berührte, schienen sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derart zusammenzuziehen, als wären sie anscheinend von heftigen tonischen Krämpfen befallen. Der andere aber, welcher uns bei Elektrizitätsversuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, dass sich das ereignet hätte, während dem Konduktor der Maschine ein Funken entlockt wurde. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich, der ich etwas gänzlich anderes vorhatte und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Daraufhin wurde ich von einem unglaublichen Eifer und Begehren entflammt, dasselbe zu erproben und das, was darunter verborgen wäre, ans Licht zu ziehen. Ich berührte daher selbst mit der Messerspitze den einen oder den anderen Schenkelnerv, und in dem Moment entlockte einer von den Anwesenden einen Funken. Die Erscheinung blieb stets dieselbe. Unfehlbar traten heftige Kontraktionen in den einzelnen Muskeln der Gelenke in demselben Moment ein, in dem der Funken übersprang, wie wenn das präparierte Tier vom Tetanus befallen wäre. In dem Bedenken aber, dass diese Bewegungen mehr von der Berührung mit der Messerspitze, welche vielleicht den Reiz bewirkte, als von dem Funken herrührte, habe ich dieselben Nerven wieder auf dieselbe Weise bei anderen Fröschen mit der Messerspitze berührt und zwar stärker, doch ohne dass während dieser Zeit jemand einen Funken hervorrief. Es wurden jedoch gar keine Bewegungen bemerkbar. Dadurch bin ich zu der Ansicht gekommen, es sei vielleicht zur Hervorrufung der Erscheinung die Berührung eines Körpers und der elektrische Funken

zusammen erforderlich."

Die Tatsache, dass Galvani es unterliess, den Raum, in dem die Beobachtung stattfand, genau anzugeben und die Namen seiner Mitarbeiter zu erwähnen, verleitete einige spätere Kommentatoren zu interessanten und sogar lustigen Hypothesen.

Jean Louis Alibert (1766–1837)[77] zum Beispiel behauptete, dass sich an jenem Abend unter Galvanis Mitarbeitern auch sein Neffe *Dr. Camillo Galvani* befand, der durch einen italienischen Abriss der Naturgeschichte Buffons bereits bekannt geworden war. Er meint ferner, dass die Frösche ursprünglich für eine Fleischbrühe bestimmt waren, die Galvani selber zur Stärkung seiner geliebten kränklichen Ehefrau kochen wollte.

Die Beobachtung der allerersten Zuckungen beim Kontakt des Skalpells mit dem Nervus femoralis schreibt Alibert der Ehefrau Galvanis zu. Die geistreiche Frau habe dann voll Begeisterung den Ehemann auf das Ereignis aufmerksam gemacht. Das werde durch ein kleines Gedicht bestätigt, das Galvani zur Ehrung seiner Entdeckung damals gewidmet wurde, und in dem die grossartige Rolle seiner Ehefrau betont werde.

Die Geschichte von den ursprünglich für die Küche bestimmten Fröschen Galvanis wird später von *Francois Arago* (1786–1853)[78] und *Pierre Sue* (1739–1815)[79] wieder aufgenommen, wobei jeder der beiden Kritiker seine eigene Version vorbringt.

Professor *Silvestro Gherardi,* der Verfasser des 1841 erschienenen "Rapporto sui manoscritti di Luigi Galvani" hat dann die Meinung von Sue mit Verachtung abgetan[80]. Er betont, dass Galvani nicht von mehreren Fröschen, sondern nur von einem einzigen Frosch spricht. Die Tatsache, dass er bereits seit einigen Jahren an der Auslösung von Muskelzuckungen bei Froschpräparaten arbeitete, wie seine drei 1772, 1773 und 1774 abgefassten, aber nicht veröffentlichten lateinischen Dissertationen beweisen[81], bestätigt die Meinung von Silvestro Gherardi und widerlegt die Version Aragos und Sues vom rein zufälligen Ausgangspunkt der Entdeckungen Galvanis. (vgl. S. 14)

Das von Galvani und seinen Mitarbeitern damals beobachtete Phänomen war einfacher Natur und den damaligen Physikern bereits bekannt: *das Resultat der Fernwirkung einer elektrischen Entladung.* Dabei spielte der Froschschenkel die Rolle eines sehr empfindlichen Elektroskopes, während das Skalpell, als guter Leiter, und der Körper des Experimentators die Verbindung mit der Erdoberfläche herstellten.

Seine Gegner warfen später Galvani vor, er habe seine Beobachtung mangels elementarer Kenntnisse im Bereich der Elektrostatik überschätzt[82]. Zur Auslösung der Mus-

kelzuckung genüge einfach die künstliche Entladung der Elektrisiermaschine: die Mitwirkung einer tierischen Elektrizität anzunehmen, sei vollkommen überflüssig. Aus Galvanis Werk "Dell'uso e dell'attività dell'arco conduttore nelle contrazioni dei muscoli"[83] erfährt man aber, dass er in der Elektrostatik gar nicht so schlecht bewandert war. Über die Fernwirkung einer elektrischen Entladung ("il colpo che i moderni fisici chiamano di ritorno") und die dadurch beim Tier ausgelösten Muskelkontraktionen war er gut orientiert. Unklar war ihm einzig, auf welche Weise der elektrische Funke die tierische Elektrizität, mit der er schon rechnete[84], in Bewegung setzen konnte.

Das Phänomen des "colpo di ritorno", das zu Galvanis Zeiten als einfache Auswirkung elektrostatischer Induktion erklärt werden konnte, enthält den Keim der modernen drahtlosen Telegraphie nach dem Marconi-System.

Die erste radiotelegraphische Sendung, die *Guglielmo Marconi* (1874–1937) aus Bologna im Frühling des Jahres 1895 in der Villa Grifone von Pontecchio ausführte, beruhte auf dem gleichen Prinzip, welches unter den Händen Galvanis einen Muskel in Bewegung gesetzt hatte.

Der Rest des ersten Teiles von Galvanis Abhandlung enthält eine gründliche experimentelle Studie der drei Faktoren, die zur Auslösung des Phänomens nötig sind: künstliche Elektrizität, Nerv und Fremdkörper als Leiter. Nach vielen Versuchen, welche im wesentlichen geschickte Variationen des ersten sind und sich über rund sechs Jahre erstreckten, kam Galvani zu folgenden Schlüssen[85]:

1) Die Muskelzuckungen des Froschpräparates werden durch die künstlich erzeugte Elektrizität hervorgerufen.

2) Das Phänomen untersteht folgenden Gesetzen:
   a) die Stärke des elektrischen Funkens und der Muskelzuckungen sind direkt proportional.
   b) Die Entfernung des Präparates vom Konduktor der Elektrisiermaschine und die Stärke der Muskelzuckung sind indirekt proportional.
   c) Der Nerv übermittelt den Reiz, der die Zuckung auslöst.
   d) Der Fremdkörper (das Skalpell, der menschliche Körper, der es in der Hand hält, ein Eisendraht, usw.) muss ein guter Leiter sein und eine gewisse Grösse und Ausdehnung haben, sonst geschieht nichts.
   e) Grösse und Ausdehnung des Fremdkörpers und Stärke der Muskelzuckung sind in einem begrenzten Rahmen direkt proportional: ein Minimum an Län-

ge und Ausdehnung darf nicht unterschritten werden, sonst gibt es keine Zuckung mehr; bei Überschreiten eines bestimmten Maximums nimmt die Stärke der Zuckung nicht mehr weiter zu.

Im *zweiten Teil* kommen die Versuche über die natürliche Elektrizität der Atmosphäre zur Sprache. Galvani wollte dabei feststellen, ob die natürliche Elektrizität ebenfalls imstande sei, Muskelzuckungen auszulösen. Zu diesem Zweck erhob er auf dem Dach seiner Wohnung in Bologna einen Eisenmast, von dem ein metallischer Draht bis in sein Zimmer hinabhing. An diesen Draht hängte er während eines Gewitters ein Froschschenkel-Präparat mittels seiner Femoralnerven: beim Aufleuchten des Blitzes zuckte der Muskel in gleicher Weise wie bei der Funkenentladung der Elektrisiermaschine in den früheren Versuchen. Einzig die Durchführung des gleichen Versuches bei schönem Wetter misslang: eine Wirkung des Wetterleuchtens an schönen Sommerabenden auf das Nerv-Muskel-Präparat des Frosches liess sich nicht feststellen. Die Erklärung dieses Misserfolges überliess Galvani den Physikern.

Der *dritte Teil* von Galvanis Abhandlung berichtet über die wichtigste und interessanteste Phase seiner Entdeckung. Sie geht von der Absicht aus, die Kraft der auch in der ruhigen Atmosphäre vorhandenen Elektrizität zu untersuchen, um die Beobachtungen über die natürliche Elektrizität der Gewitteratmosphäre zu vervollständigen. Diese Phase dauerte vom 20. September bis zum 20. Oktober 1786.

Galvani hatte einige Tage vorher Froschschenkel, die aus irgendeinem Grunde mit ins Rückenmark eingesteckten Kupferhaken versehen waren, über das eiserne Balkongeländer gehängt, das den Garten des Palazzo Zambeccari di Bel Poggio einsäumte. Während einiger Stunden beobachtete er nur sehr undeutliche Zuckungen, die er auf die Veränderungen der atmosphärischen Elektrizität zurückführte. Die Wiederholung des Experimentes an einigen aufeinanderfolgenden Tagen ergab immer das gleiche, wenig befriedigende Resultat. Durch das vergebliche Warten ermüdet, begann schliesslich Galvani, um vielleicht doch noch eindeutige Muskelzuckungen zu erhalten, die in der Luft frei baumelnden Kupferhaken gegen das eiserne Geländer zu drücken[86].

" . . . . vana tandem expectatione defatigatus, coepi aereos uncos, quibus spinales medullae infigebantur, adversus ferreos cancellos urgere, et comprimere, visurus an hoc artificii genere contractiones musculares exitarentur . . . . " [87] und siehe da: die Froschmuskeln begannen zu zucken.

Um eine eventuelle Wirkung der atmosphärischen Elektrizität doch sicher auszuschlies-

sen, führte Galvani den Versuch auch im geschlossenen Raum seines Zimmers aus: der Erfolg war genau gleich.

Diese grundlegenden Beobachtungen – im Freien und im geschlossenen Raum – über Muskelzuckungen an Nerv-Muskel-Präparaten des Frosches, die beim Kontakt mit bimetallischen Armaturen entstehen und von elektrischen Entladungen in der Umwelt unabhängig sind, beschreibt und erklärt Galvani selber in folgender Weise[88]:

". . . . als ich zuweilen bemerkt hatte, wie die präparierten Frösche, welche an dem Eisengitter, welches einen hängenden Garten unseres Hauses umgab, auch mit Messinghaken im Rückenmark versehen aufgehängt waren, in die gewöhnlichen Zukkungen verfielen, nicht nur bei Blitzen, sondern auch bei ruhigem und heiterem Himmel, meinte ich die Entstehung dieser Kontraktionen sei von den Veränderungen, welche unterdessen in der atmosphärischen Elektrizität vor sich gehen, herzuleiten. Daher habe ich nicht ohne Hoffnung begonnen, die Wirkung dieser Veränderungen in diesen Muskelbewegungen sorgfältig zu erforschen und auf die eine und die andere Art darüber Experimente anzustellen. Deshalb beobachtete ich zu verschiedenen Stunden, und zwar viele Tage lang, dazu passend hergerichtete Tiere, aber kaum jemals trat eine Bewegung in den Muskeln ein. Schliesslich durch das vergebliche Warten ermüdet, habe ich angefangen, die ehernen Haken, welche in das Rückenmark geheftet waren, gegen das eiserne Gitter zu quetschen und zu drücken, um zu sehen, ob durch einen solchen Kunstgriff die Kontraktionen der Muskel erregt würden, und ob anstatt einer Veränderung im Zustande der Atmosphäre und Elektrizität irgendwie sonst eine Veränderung und Wandlung von Einfluss wäre. Ich beobachtete zwar ziemlich häufig Kontraktionen, aber keine, welche von dem verschiedenen Zustande der Atmosphäre und Elektrizität abhing. Als ich diese Kontraktionen nur in der freien Luft beobachtet hatte, denn an anderen Orten waren noch keine Versuche angestellt worden, so fehlte nicht viel und ich hätte der atmosphärischen Elektrizität, welche in das Tier kriecht und sich daselbst anhäuft und bei der Berührung des Hakens mit dem Eisengitter plötzlich entweicht, solche Kontraktionen zugesprochen. *Denn es ist leicht, sich beim Experimentieren zu täuschen und zu meinen, das gesehen und gefunden zu haben, was wir zu sehen und zu finden wünschen* [89].

Als ich aber das Tier in das geschlossene Zimmer übergeführt, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in das Rückenmark gehefteten Haken zu drücken, siehe da, dieselben Kontraktionen, dieselben Bewegungen! Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und anderen Tagen erprobt; und dasselbe Ergebnis, nur dass die Kontraktionen bei der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei den einen nämlich heftiger, bei den anderen langsamer. Schliesslich kam uns in den Sinn, auch andere Körper, welche aber wenig oder gar keine Elektrizität leiteten, nämlich aus Glas,

Gummi, Harz, Stein oder Holz bestehende und zwar trocken zu dem Experiment zu verwenden, nichts ähnliches trat ein, es liessen sich keine Muskelkontraktionen und Bewegungen erblicken. Natürlich erregte ein derartiges Resultat bei uns nicht geringe Verwunderung und liess die Vermutung in uns aufsteigen, *dass dem Tier selbst Elektrizität* innewohne. Wir wurden in beiderlei Hinsicht bestärkt durch Annahme eines sehr feinen Nervenfluidums, das während der Erscheinung von den Nerven zu den Muskeln fliesse, ähnlich dem elektrischen Strom in der Leidener Flasche."

Galvani führt anschliessend noch weitere Variationen desselben Versuches an, welche ihm die Existenz einer besonderen tierischen Elektrizität bestätigen. Seine Schlussfolgerungen wurden, wie noch zu zeigen sein wird, von *Volta* in Frage gestellt. Um Voltas Einwände zu widerlegen, ersann Galvani neue Experimente, die den eindeutigen Nachweis erbrachten, dass Nerv und Muskel der Sitz elektrischer Potentiale sind (siehe unten SS.33 bis 35). Damit war die Bioelektrizität entdeckt.

Im *vierten Teil* der Behandlung berichtet uns Galvani über seine *elektrophysiologischen* und *-pathologischen Ideen* sowie über seine Hoffnungen in Bezug auf die *therapeutischen Anwendungsmöglichkeiten* des Galvanimus in der praktischen Medizin.

a) Herkunft der tierischen Elektrizität

Bildungsort der tierischen Elektrizität ist nach Galvani das Gehirn [90]. Über das Rükkenmark und die motorischen Nervenbahnen fliesst sie zu den Muskelfasern. Sie entspricht damit genau der von *Cullen* postulierten Nervenkraft.

Galvani sagt[91]:

"Wir glauben also, dass das elektrische Fluidum durch die eine Kraft des Gehirns bereitet und wahrscheinlich aus dem Blute entwickelt wird, und in die Nerven geht und innen durch sie fliesst, mögen sie hohl und leer sein, oder, was wahrscheinlicher ist, eine sehr flüchtige Lymphe oder ein anderes ähnliches sehr flüchtiges Fluidum, welches, wie die meisten meinen, von der Rindensubstanz des Gehirns abgeschieden wird, enthalten. Wenn das der Fall ist, wird vielleicht die geheimnisvolle und bisher lange vergeblich erforschte Natur der Tierseele ihrem Dunkel entzogen werden."

b) Muskelphysiologie

Bei der Deutung seiner Experimente zog Galvani zum Vergleich das Modell der Leidener Flasche heran: *die Muskelfaser ist sozusagen eine organische Leidener Flasche* [92]. Die die Faser umhüllende Membran entspricht der Wand der Flasche, ihre Innen-

fläche ist positiv, ihre Aussenfläche negativ geladen. Der Nerv entspricht dem Konduktor. Die beim Experiment verwendete bimetallische Armatur schliesst den Kreis und bringt, über Nerv und Metall, die Spannung zwischen den beiden Oberflächen der Muskelfaser zur Entladung.

Die Muskeln sind für Galvani das Hauptreservoir der tierischen Elektrizität im Körper. Die *natürliche Muskelzuckung* kommt nach seiner Auffassung dadurch zustande, dass der Nerv das "elektrische Fluidum" aus dem Innern der Muskelfaser schöpft und auf die Aussenfläche hinüberleitet.

Der Reiz der auf diese Weise von innen nach aussen fliessenden Elektrizität hat eine Muskelzuckung zur Folge. Warum aber die Muskelfaser mit einer Zuckung reagiert, das kann Galvani nicht erklären; er gibt offen zu, dass dies "noch zu sehr in Dunkel gehüllt" sei [93].

Mit den Ideen der modernen Muskelphysiologie verglichen, sind diejenigen Galvanis folgendermassen zu beurteilen:

Die elektrische Polarisation der ruhenden Muskelfasern ist heute bewiesen. Galvani irrte sich nur in der Festlegung der elektrischen Ladung, die tatsächlich an der äusseren Oberfläche der Muskelfasermembran positiv und im Innern negativ ist.

Die Richtung der Depolarisationswelle geht immer vom Nerv zum Muskel und nicht, wie damals Galvani annahm, umgekehrt. Bestätigt hat sich jedoch der von Galvani behauptete enge Zusammenhang zwischen elektrischer Depolarisation und Muskelzuckung.

c) Nervenphysiologie

Die Nerven definierte Galvani als gute Leiter der tierischen Elektrizität in ihrem entweder hohlen oder aus geeigneter Materie bestehenden zentralen Teil. Die äussere ölige Hülle stellte für ihn einen Isolator dar[94]. In der modernen Physiologie des Nervensystems gilt der Achsenzylinder als relativ guter Leiter und die Myelinscheide als ein Isolator[95].

d) Elektrizität und Pathologie

Galvani nahm an, dass gewisse Krankheiten durch einen Überfluss beziehungsweise durch einen Mangel an Elektrizität im menschlichen Körper entstehen[96]. Er folgte hierin dem vielseitigen *Pierre Bertholon,* Abbé de St-Lazare (? – 1799), von dem er übrigens auch den Ausdruck "tierische Elektrizität" übernommen hat[97]. Bei Ber-

tholon war dieser Begriff jedoch rein theoretisch begründet; Galvani dagegen hat seine Realität experimentell bewiesen. Seine Elektropathologie knüpft auch an die bereits erwähnten Theorien *William Cullens* und *John Browns* an (vgl. S. 4).

Einen Überfluss an Elektrizität behauptete Galvani bei allen Krampfleiden[98] (Starrkrampf, Konvulsionen, rheumatische Muskelkontrakturen, Ischias), einen Mangel bei Lähmungen[99].

Die schmerzhaften Muskelkontrakturen bei rheumatischen Krankheiten schrieb er einer Ansammlung krankhafter Säfte zu, welche die Nerven umgeben, sie reizen und gleichsam die Elektrizität, das Nervenfluidum, aus dem Hirn herbeiziehen; die krankhaften Ergüsse nehmen die Elektrizität auf und leiten sie, ähnlich dem Metallbogen im Tierexperiment, den Muskeln zu. So kommt es zu jenen unwillkürlichen, abnormen Kontraktionszuständen.

Auf gleichartigen Ergüssen zwischen dem Hirn und den Hirnhäuten, in den Hirnventrikeln oder zwischen der Wand des Wirbelkanals und dem Rückenmark beruhen die tödlichen Spasmen, die beim Starrkrampf vorkommen.

Die Pathogenese des entgegengesetzten Zustandes, der Paralyse, schreibt Galvani der Unterbrechung des Stromes des elektrischen Fluidums durch eine nicht leitende Substanz zu. Sie tritt ein, wenn eine ölige oder sonst nicht leitende Materie die Nerven verstopft, aber auch wenn ein scharfer und ätzender Saft das Hirngewebe verletzt.

e) Elektrotherapeutische Ideen

Nach Galvani hängt die heilende Wirkung der künstlichen Elektrizität bei den erwähnten Krankheiten davon ab, wie sie die tierische Elektrizität im Körper beeinflusst[100]. Er ging von der Voraussetzung aus, dass ein Überfluss an Elektrizität, d.h. eine relative Positivierung, durch Entzug, ein Mangel, d.h. eine relative Negativität, durch Zufuhr von Elektrizität zu beseitigen wäre. Dabei sollte man sich des negativen bezw. des positiven Poles einer Elektrisiermaschine bedienen[101].

Galvani unterschied vier Verabreichungsmöglichkeiten der künstlichen Elektrizität: den elektrischen Schlag, das elektrische Bad, den elektrischen Funken und den Entzug von Elektrizität.

Bei den Krampfleiden schlug er den Entzug von Elektrizität vor (das heisst die Behandlung mit negativer Elektrizität), falls ihre Ursache ein pathologischer Überschuss an tierischer Elektrizität in den Muskeln sei, welche dann bei geringfügigem Anlass in die Nerven übertrete und nach dem Gehirn geleitet werde[102]. Falls aber -- wie

beim Rheumatismus – scharfe und reizende Stoffe die Ursachen der Krampfleiden sind, empfiehlt er die Anwendung der positiven Elektrizität, weil sie die oben genannten Stoffe von den Nerven entfernen werde[103].

Dass tatsächlich zuviel Elektrizität im Körper vorhanden sei, lasse sich an folgenden Symptomen erkennen: ungewöhnliche Muskelunruhe, ungewöhnliche Lebendigkeit des Blickes, Erhöhung der Körpertemperatur, Vermehrung der Exkretionen und Sekretionen, Pulsbeschleunigung. Als mögliche Ursache dieser Veränderungen müsse freilich auch die Zunahme der atmosphärischen Elektrizität in Rechnung gestellt werden.

In jedem Fall soll die Elektrotherapie mit dem elektrischen Bad beginnen, mit dem elektrischen Funken fortgesetzt und mit dem elektrischen Schlag (Erschütterung) beendet werden, falls die positive Elektrizität gebraucht wird[104].

Bei Anwendung der negativen Elektrizität schlug Galvani vor, die Hervorrufung des Funkens aus dem Konduktor der Elektrisiermaschine oder der Leidener Flasche derart durchzuführen, dass der leitende Teil des Körpers mit Konduktoren versehen wird, von denen die einen gegen die Maschine gerichtet sind, die anderen mit der Erde in Verbindung stehen.

Bei den Paralysen empfiehlt Galvani die Anwendung der künstlichen Elektrizität nur dann, wenn ihre Ursache eine isolierende Materie im Innern der Nerven ist und keine Nerven- oder Gehirnverletzung vorliegt. In diesem zweiten Falle könnte sie sogar schädlich werden [105].

IV. Die Kontroverse Galvani -- Volta

1) Alessandro Volta

Alessandro Volta wurde am 18. Februar 1745 im Como geboren [106]. Sein Vater Filippo war mit Maddalena di Conti Inzaghi verheiratet. In der Schule seiner Heimatstadt wurde er von Anfang an wegen seiner Intelligenz und seines Fleisses sofort unter die besten Schüler eingereiht. Bereits mit achtzehn Jahren unterhielt er einen Briefaustausch über physikalische Probleme mit dem bekannten Physiker *Jean Antoine Nollet* (1700 bis 1770) aus Paris. Neunzehnjährig schrieb er ein lateinisches Gedicht, das unveröffentlicht blieb und die berühmtesten Entdeckungen der zeitgenössischen Forscher pries. Das wird zusammen mit einem kleinen Gedicht, das der Besteigung des Mont-Blanc-Gipfels durch den berühmten Naturforscher und Physiker *Horace-Bénédict de Saussure* (1740–1799) gewidmet wurde, seine einzige literarische Tätigkeit sein.

Vierundzwanzigjährig veröffentlicht Volta 1769 seine erste Abhandlung über Elektrizität. Sie beschäftigt sich mit der 1745/1746 entdeckten sogenannten Leidener Flasche, die in Wirklichkeit auf den Domherrn *von Kleist* in Kausin in Pommern zurückgeht [107]. Im Jahre 1771 erscheint Voltas zweite Abhandlung über Elektrizität, eine gründliche Untersuchung der damals bekannten Arten. Der Erfolg dieser beiden Abhandlungen bestand unter anderem darin, dass Volta im Jahre 1774 Physiklehrer am städtischen Gymnasium von Como wurde.

Ebensowenig wie Galvani liess sich Volta je durch unlautere Motive leiten. Während jedoch Galvani seine Heimatstadt fast nie verliess, unternahm Volta mehrere literarische und wissenschaftliche Reisen ins übrige Europa: im Jahre 1777 traf er *de Saussure* in Genf, *Voltaire* (1694–1778) in Ferney und *Haller* in Bern [108].

Mit Voltas Ernennung zum Professor der Physik in Pavia beginnt 1779 die Zeit seiner intensivsten Forschungstätigkeit auf dem Gebiete der Elektrizität; auf weiteren, grossen Auslandsreisen suchte und fand er vielerlei Anregung. Er besuchte u.a. *Georg Christoph Lichtenberg* (1744–1799) in Göttingen, *Joseph Priestley* (1733–1804) in Birmingham, *Pierre Simon Laplace* (1749–1827) und *Antoine Laurent Lavoisier* (1743–1794) in Paris.

Voltas Forschungseifer verband sich mit technischem Geschick. Er konstruierte u.a. eine Reihe elektrischer Messapparate in verbesserter Form (Elektrophor, Elektrometer, Kondensator) und erfand das Eudiometer.

Von 1792 an beschränkte sich Volta fast ausschliesslich auf Versuche, die sich an Galvanis Entdeckung der Bioelektrizität anschlossen. Im Verlauf dieser Studien entwickelte er 1799 die sogenannte Voltasche Säule, die erste Form einer elektrischen Batterie.

Neunundvierzigjährig heiratete Volta im Jahre 1794 *Teresina de Pellegrini,* die ihm drei Söhne schenkte. Den frühen Tod eines seiner Söhne im achtzehnten Lebensjahr bezeichnete *Arago* als das einzige Unglück in der langen Laufbahn Voltas, dem das Schicksal viel günstiger gewesen war als Galvani. Im Gegensatz zu dem grossen Bologneser Forscher genoss Volta auch die Gunst der französischen Besatzungsmacht. Im Jahre 1801 gelangte eine Einladung von Napoleon an ihn, nach Paris zu kommen, um im "Institut de France" seine Versuche über die Säule vorzuführen[109]. Im Laufe dieser berühmten Sitzung las er eine Schrift vor, in der zum ersten Male seit der Entdeckung des Galvanismus die Identität des elektrischen und galvanischen "Fluidums" bewiesen wurde[110]. Vom Jahre 1802 datiert ein Brief Voltas über die elektrotherapeutische Behandlung der Taubstummen[111].

Im Jahre 1804 wünschte Volta von der Professur in Pavia zurückzutreten. Napoleon antwortete auf sein Gesuch mit folgenden Worten: "Ich kann die Verabschiedung Voltas nicht bewilligen. Sind seine Tätigkeiten als Professor zu ermüdend, so mögen sie eingeschränkt werden. Er mag wenn auch nur eine Vorlesung jährlich halten, aber die Universität Pavia wäre in ihrem Herzen getroffen, wenn ich es gestattete, dass ein so berühmter Name aus der Liste ihrer Mitglieder gestrichen würde; übrigens muss ein guter General auf dem Felde der Ehre sterben[112]." Erst 1819 gab Volta, 74jährig, seine Professur in Pavia auf[113] und zog sich nach Como zurück, wo er 1823 einen Schlaganfall erlitt. Er starb am 5. März 1827 im Alter von 82 Jahren. Ein Denkmal wurde ihm auf dem Hügel von Camnago in der Nähe von Como im Jahre 1878 errichtet[114].

2. Die Kontroverse

Ein gemeinsamer Freund beider Wissenschaftler, *Don Bassiano Carminati,* Professor der Medizin an der Universität Pavia, unterrichtete als erster Volta über die Entdekkung der tierischen Elektrizität durch Galvani. Er schickte ihm anfangs 1792 ein Exemplar der Modenaer Ausgabe von "De viribus electricitatis in motu musculari",

welches ihm Galvani selber durch *Don Mariano Fontana* (1746–1808) hatte schenken lassen. Bis zum Empfang dieses Exemplares hatte Volta nichts über die Entdekkung Galvanis gehört. Das erfährt man aus einem Brief com 3. April 1792 von Carminati an Galvani [115]. Darin dankt der Absender zuerst für das wertvolle Geschenk und fügt dann seine Glückwünsche zu der grossartigen Entdeckung sowie diejenigen seiner Kollegen zu. Unter diesen ist Lazzaro Spallanzani zu nennen, und sogar Volta ist dabei.

Ferner schreibt Carminati, dass Volta, der sich wie seine Kollegen in Pavia der grossen Bedeutung der wunderbaren Entdeckung bewusst sei, sich vor acht Tagen an die Nachuntersuchung der Galvanischen Versuche gemacht habe. Er könne Galvani bereits beistimmen, dass die Überbrückung von Muskel und Nerv mit einer leitenden Metallverbindung beim Froschpräparat Zuckungen auslöse und dass an der Existenz der tierischen Elektrizität nicht zu zweifeln sei. Aber von Galvani abweichend hätte Volta die Muskeloberfläche für elektrisch positiv gegenüber dem negativen Inneren erklärt. Er wolle aber der Meinung Galvanis noch nicht endgültig widersprechen, weil die Zahl der bisher durchgeführten Nachuntersuchungen zu klein sei.

An demselben 3. April 1792, da Carminati seinen Brief an Galvani schreibt, erscheint die erste Veröffentlichung Voltas über tierische Elektrizität [116]. Als Physiker bemüht sich Volta, die *galvanischen Phänomene quantitativ zu erfassen.* Er fragt nach der Stärke der elektrischen Entladungen, die einen Froschschenkel zum Zucken zu bringen vermögen[117]. Dabei kann er folgendes feststellen: wenn man einen Frosch so präpariert, dass nur das Rückenmark und die mittels der sorgfältig entblössten Nerven daran hängenden Hinterschenkel übrig bleiben und dann den Rückenmarkstumpf und einen Teil der Nerven mit einer dünnen Metallfolie umwickelt, so ziehen sich die Muskeln schon überaus heftig zusammen, obwohl das Bennetsche Elektroskop noch keinen Ausschlag zeigt. Dieses aus Blattgold oder Silberstreifen bestehende Elektroskop war damals, wie Volta betont, das empfindlichste Messinstrument.

Heftige Muskelzuckungen werden auch von der Entladung einer Leidener Flasche ausgelöst, die bei der Messung mit dem erwähnten Elektrometer einen Ausschlag von kaum einem Zehntelsgrad bewirkt. Um einen so ausnehmend niedrigen Grad von Elektrizität feststellen zu können, muss man sich eines Kondensators bedienen.

Aus diesen und weiteren Versuchen wird dann Volta in seiner "Zweiten Abhandlung über thierische Elektrizität" schliessen, dass das Nerv-Muskel-Präparat des Frosches tatsächlich ein tierisches Elektrometer sei, welches alle künstlichen Messinstrumente an Empfindlichkeit übertreffe [118].

In seiner ersten Schrift über tierische Elektrizität bringt Volta auch den Beweis für seine von Carminati bereits erwähnte Meinung über den Sitz der positiven und der

negativen Ladung in der Muskelfaser und im Nerv; das Nerv-Muskel-Präparat vergleicht er, übereinstimmend mit Galvani, mit einer Leidener Flasche [119].

Sein Vorgehen beschreibt Volta mit diesen Worten[120]:

"Mittels eines Elektrometers, auch des allerempfindlichsten, liess sich die Natur dieser so ausnehmend schwachen Elektrizität nicht dartun: ich musste also einen anderen Weg einschlagen. Ich dachte nämlich, dass es nicht gleichgültig sein könnte, ob ich die äussere oder ob ich die innere Belegung einer äusserst schwach geladenen Flasche an den Muskel oder an den Nerven brächte: denn zwei Flaschen, die mit ihren gleichnamigen elektrischen Flächen in Berührung kommen, entladen sich nicht; wohl aber werden beide entladen, wenn sich ihren entgegengesetzten Elektrizitäten ein Vereinigungspunkt darbietet. Nun habe ich in einem vielmals wiederholten Versuche immer gesehen, dass 5/100 bis 6/100 Grad des Strohpendulmessers hinlänglich sind, Konvulsionen zu erregen, wenn die positiv elektrische Fläche der Leidener Flasche den Nerven berührt, dass im Gegenteil 20/100 25/100 30/100 nicht hinlänglich sind, wenn die selbige Fläche mit dem Muskel, die negative mit dem Nerven in Verbindung gesetzt wird. Ich glaubte also hieraus schliessen zu dürfen, dass dem Nerven von Natur eine negative, dem Muskel eine positive Elektrizität zu Teil geworden sei." Das Innere der Muskelfaser ist wie der Nerv negativ geladen.

Die Stellungnahme *Galvanis* auf diesen ersten, die Existenz der tierischen Elektrizität noch nicht berührenden Einwand Voltas kam in der Antwort an Carminati vom 8. Mai 1792. Ruhig, vornehm und sachlich schreibt er:[121] "Es soll mir gar nicht schwer ankommen, meine Hypothese aufzugeben, wenn nur dabei die Wahrheit gewinnt; denn durch diese allein wird doch der Wert und Nutzen aller meiner Untersuchungen bestimmt." Anschliessend äussert er einige Zweifel an Voltas Beweisführung und bleibt zuletzt zwischen beiden Annahmen schwankend; er bittet Carminati, seine Zweifel Volta zur Stellungnahme vorzulegen.

Die Polemik der beiden Wissenschaftler über die Existenz der tierischen Elektrizität, die Volta etwa fünf Monate später auslöst, wird die Frage nach dem allfälligen Sitz der Ladungen in der Muskelfaser als belanglos erscheinen lassen.

Die Begeisterung Voltas für die Entdeckung Galvanis war bis Mitte September 1792 gross geblieben. In seiner ersten Abhandlung über die tierische Elektrizität vom 5.Mai 1792 [122] schreibt er, dass die Schrift Galvanis eine jener grossen und glänzenden Entdeckungen enthalte, welche es verdienen, in den Annalen der Physik und Medizin Epoche zu machen. Gleicher Meinung ist er noch am 13. September 1792, als er in seinem ersten Brief an den in England lebenden italienischen Privatgelehrten *Tiberio Cavallo* (1749–1809) über die Abhandlung Galvanis folgendes schreibt:[123] "Sie

enthält eine der schönsten und überraschendsten Entdeckungen und den Keim zu vielen anderen."

Aber bereits im zweiten Brief an Cavallo am 25. Oktober 1792 teilt er ihm seine Meinungsänderung mit[124]. In weiteren von Volta angestellten Versuchen hatte sich nämlich die Stärke der Zuckung erheblich von der Art der verwendeten Metalle abhängig erwiesen. So entstand in ihm der Verdacht, dass die Metalle bei der Auslösung der Zuckungen nicht nur eine passive Rolle als elektrische Leiter spielen. Schliesslich kam er zur Auffassung, dass es sich bei Galvanis Versuchen überhaupt nicht um die Äusserung einer tierischen Elektrizität, sondern um *Reizeffekte einer bisher unbekannten Art von Elektrizität handle, die bei der Berührung zweier heterogener Metalle entsteht.*

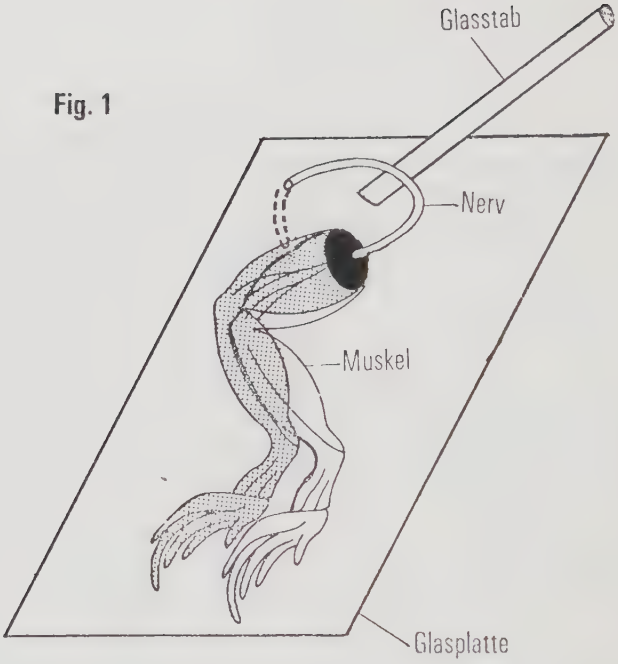
Um diesen Einwand Voltas zu widerlegen, versuchte *Galvani* zunächst unter anderem, mittels eines metallischen Bogens aus reinem Gold (also einem absolut homogenen Metall) Muskelzuckungen auszulösen. Das gelang ihm, und er durfte nun behaupten, dass die Heterogenität der Metalle zur Auslösung der Muskelzuckungen nicht nötig sei (1794) [125].

Volta antwortete Galvani indirekt in einem ersten Brief [126] an *Antonio Maria Vassalli* (1761–1825), Professor der Physik in Turin, noch im Laufe des Jahres 1794. Die Verwendung eines absolut homogenen Metalles überzeugt ihn nicht als Beweis, weil auch in diesem Falle die geringste Verunreinigung des Metalles genüge, um Elektrizität nach dem Heterogenitätsprinzip zu erzeugen. Galvani müsse das Gegenteil beweisen[127].

Mit einem Versuch, der auf die Verwendung des metallischen Reizbogens bei der Auslösung von Muskelzuckungen völlig verzichtet, beseitigt *Galvani* auch diesen letzten Einwand seines Widersachers. Bei einem Frosch "preparato alla solita maniera" isolierte er den Ischias-Nerv, trennte ihn vom Rückenmark und legte die Schnittfläche des peripheren Nervenstückes mit Hilfe eines isolierenden Glasstabes auf die freigelegte Oberschenkelmuskulatur. Auch jetzt kontrahierte sich der Muskel jedesmal, wenn das Ende des Nervs mit der Oberfläche des Muskels in Berührung kam und so den Stromkreis schloss. Ein Leiter aus fremdem Stoff war bei diesem Versuch überhaupt nicht mehr im Spiel (Fig. 1). Dieses Experiment stellt im Wesentlichen die *Entdeckung des Polarisationspotentials eines Muskels dar* [128].

Galvani berichtet darüber in der "Memoria I. allo Spallanzani", [129] wie die übrigen vier im Jahre 1797 veröffentlicht, aber sehr wahrscheinlich von ihm bereits im Jahre 1795 geschrieben [130].

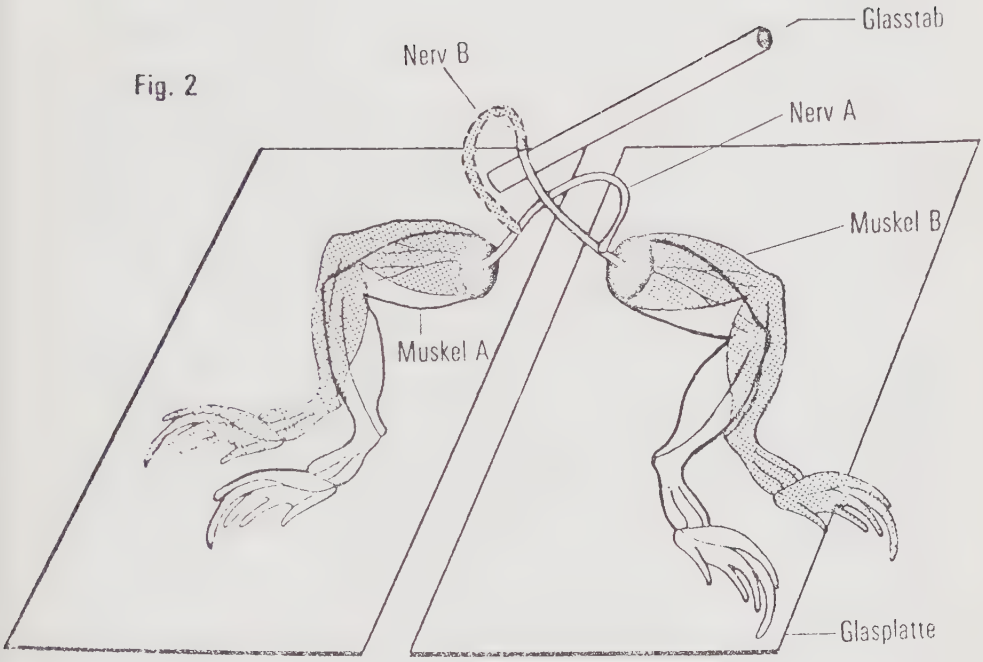
Fig. 1



Solche Potentialdifferenzen durch Messung nachzuweisen, war beim damaligen Stand der Technik noch nicht möglich. Erst dank *Leopoldo Nobilis* (1784–1835) Galvanometer und der darauf aufbauenden Verbesserungen wurde man – nach 1825 – dazu instandgesetzt. Vor allem *Emile du Bois-Reymond* und *Carlo Matteucci* (1811–1868) haben sich 1842/44 dieser verfeinerten Messgeräte bedient, um die tierische Elektrizität als messbare Grösse sicher zu erfassen.

Gegen Galvanis Beweisführung liess sich aus der Sicht Voltas einwenden: Der Nerv, der den Kreis zwischen dem Innern des Muskels und seiner Oberfläche schliesst und dabei eine Zuckung auslöst, bringt nicht, wie Galvani glaubt, eine natürlicherweise bestehende Spannung zum Ausgleich; diese Spannung entsteht vielmehr erst beim Kontakt der heterogenen Gewebe Muskel und Nerv. Auch diesen möglichen Einwand wusste Galvani zu entkräften [131]. Er legte zwei Nerv-Muskel-Präparate getrennt auf isolierende Glasplatten (Fig. 2). Dann vereinigte er (mit Hilfe eines Glasstabes) die Schnittfläche des Nervs A mit der Oberfläche des Nervs B an einem beliebigen Punkt.

Fig. 2



In gleicher Weise brachte er die Schnittfläche des Nervs B mit der Oberfläche des Nervs A in Kontakt. Im Augenblick, da er auf diese Weise den Stromkreis schloss, zuckten beide Schenkel. Weil der Kontakt ausschliesslich zwischen zwei Nerven hergestellt war, konnte die wirksam werdende Elektrizität ihre Quelle nicht in der Heterogenität der Gewebe (Nerv und Muskel) haben. Dieses Experiment stellt im Wesentlichen die *Entdeckung des Läsionspotentials des Nervs* [132] dar.

Damit endete die Polemik zwischen Galvani und Volta, doch nicht, weil sich Volta hätte überzeugen lassen, sondern weil Galvani nicht mehr gesund und kräftig genug war, um den wissenschaftlichen Streit weiterzuführen. Ein Jahr später starb er. Volta jedoch ist seiner im Oktober 1795 gefassten Meinung, dass es die auch von ihm zunächst angenommene tierische Elektrizität in Wirklichkeit nicht gebe, sein Leben lang treu geblieben.

Nach dem Tode Galvanis wurde die Polemik zwischen seinen Schülern in Bologna

und denjenigen Voltas in Pavia fortgesetzt[133]. Unter der Leitung beider Neffen Galvanis, *Giorgio und Giovanni Aldini,* war bereits im Jahre 1793 in der Universität Bologna eine wissenschaftliche Gesellschaft gegründet worden, deren Arbeiten sich gegen Volta richteten. Unter dem Einfluss dieser "Scuola bolognese" entstand in Italien die Partei der "Galvanisten", zu der unter anderem die Physikprofessoren *Eusebio Valli* und *Felice Fontana* aus Pisa gehörten. An der Universität Pavia gründeten die Professoren *Bassiano Carminati* und *Giacomo Carradori* (1758–1818) die Partei der "Voltaisten". Für die Überbrückung des Gegensatzes setzte sich der Chemiker *Giovanni Mattia Fabbroni* (1752–1822)[134] in Florenz ein; er wurde aber von den Zeitgenossen wahrscheinlich wegen des noch rudimentären Standes der Chemie im letzten Dezennium des 18. Jahrhunderts nicht ernst genommen.

Im Gegensatz zu Volta und Galvani nahm Fabbroni eine *dritte Quelle der Elektrizität bei den galvanischen Versuchen an.* Diese Quelle war weder die Kontaktstelle der heterogenen Metalle (Volta), noch der Froschkörper (Galvani), sondern die chemische Wirkung des Luftsauerstoffes auf die bimetallische Armatur oder die chemische Wirkung der Körpersäfte auf die monometallische Armatur. Diese chemische Wirkung stellte sich Fabbroni *in Form einer Oxydation vor.*

3. Die Kontroverse in heutiger Sicht

Fabbroni hatte auf diese Weise bereits im Jahre 1792 den dritten Faktor vermutet, welcher neben dem Volta-Effekt (s. unten) und der Polarisation der Zellen im tierischen Gewebe von der modernen Physik und Physiologie gebraucht wird, um die galvanischen Phänomene zu erklären. Vom Standpunkt der modernen Wissenschaft hatten nämlich weder Galvani noch Volta noch Fabbroni vollkommen recht oder unrecht. Jeder der drei hob einen einzigen Aspekt des Geschehens als allein wesentlich heraus.

Das Bestehen einer elektrischen Spannung zwischen zwei verschiedenen Metallen, die sich berühren, und das Wirken dieser Spannung als elektromotorische Kraft in einem geschlossenen Leiterkreis ist heute in der Physik eine feststehende Tatsache. Dass die Berührungsflächen der zwei heterogenen Metalle dabei relativ zueinander eine entgegengesetzte Ladung aufweisen, ist als *Volta-Effekt*[135] bekannt. Voltas Beobachtung der beim Kontakt zweier verschiedener Metalle entstehenden Elektrizität hat ihn 1799 zur Konstruktion *der Volta'schen Säule* oder "Tassenkrone" geführt. Dies war die erste Form der elektrischen Batterie, ohne die heute weder die Technik noch die Naturforschung denkbar wäre.

In der modernen Physiologie weiss man zudem, dass die Bioelektrizität ihre Quelle in der Polarisation der Gewebe-Zellen hat, welche im Nerven- und Muskelgewebe eines erst seit kurzer Zeit gestorbenen Tieres nur langsam verschwindet. Bei der Auslösung des galvanischen Phänomens summieren sich die Potentiale der metallischen Armatur und der tierischen Gewebe. Wir wissen heute auch, dass die Äusserungen der Bioelektrizität mindestens teilweise von chemischen Veränderungen begleitet werden. Die Depolarisation, welche für die Ausbreitung der Erregung über die Muskelfaser und die Auslösung der Muskelkontraktion verantwortlich ist, kann durch Verschiebung von Elektronen wie von Ionen bewirkt werden. Chemische Mediatoren spielen bei der natürlichen Muskelerregung eine hervorragende Rolle. Fabbroni hat sie vorausgesehen.

Wollen wir die Verdienste der drei Gelehrten Galvani, Volta und Fabbroni gegeneinander abwägen, so dürfen wir wohl sagen: *Galvani* hat erkannt, dass bei der Muskelkontraktion die Elektrizität im Spiele ist. *Volta* hat eine wichtige Quelle elektrischer Ströme in der Potentialdifferenz zweier verschiedener sich berührender Metalle entdeckt. *Voltas* Ablehnung einer "tierischen Elektrizität" hat *Galvani* wiederum veranlasst, die Existenz dieser Elektrizität, die ihren Ursprung in Potentialdifferenzen des Gewebes selbst hat, durch Experimente ohne metallische Leiter zuverlässig zu beweisen. *Fabbroni* hat intuitiv die beiden verschiedenen Elektrizitätsformen als etwas im letzten Grunde Einheitliches erfasst. Seine Meinung fand im bereits erwähnten Neffen Galvanis, *Giovanni Aldini*, den bedeutendsten Befürworter. Obwohl Aldini von der Existenz der Bioelektrizität fest überzeugt war, verneinte er die obenerwähnte Elektrizitätsquelle Voltas gar nicht. Im Laufe seiner theoretischen und experimentellen Untersuchungen über den Galvanismus [136] kam er sogar zum Schluss, "dass die Theorien von Volta und Galvani sich wechselweise beträchtlich aufklären können", er dachte sogar daran, analog zu der Volta'schen Säule eine "tierische Säule" als Stromquelle herzustellen, um zu beweisen, dass die tierische Elektrizität Galvanis mit Voltas Entdeckung vereinbar ist.

V. Ausblick

Galvani und Volta haben einen der wichtigsten Beiträge erbracht, den die Medizin der Naturwissenschaft des 18. Jahrhunderts verdankt. Das Werk eines jeden der beiden so verschieden gearteten italienischen Forscher ist, wie wir gezeigt haben, mit demjenigen des anderen aufs engste verflochten. Will man das Verdienst der beiden auf eine ganz knappe Formel bringen, so kann man sagen: *Galvani* hat die Bioelektrizität entdeckt und damit die später auch für die medizinische Diagnostik so wichtig gewordene Elektrophysiologie begründet; *Volta* hat den experimentellen Wissenschaften und der Technik die seither unentbehrliche Stromquelle gegeben, die elektrische Batterie in ihrer ersten Form.

Die Volta'sche Säule wurde bald auch als "galvanische Säule" bezeichnet, so von *Johann Christian Reil* (1759–1813). Mit dieser Benennung gab man dem Entdekker einer Naturkraft den Vorzug vor dem Erfinder eines technischen Hilfsmittels. Bis heute werden Stromquellen, die chemische in elektrische Energie umwandeln, allgemein als *galvanische Elemente* bezeichnet, was historisch eigentlich nicht ganz gerechtfertigt ist. Immerhin beginnt mit den Entdeckungen Galvanis die Kenntnis *elektrischer Ströme.* Vorher arbeitete man mit den *elektrischen Entladungen* der Elektrisiermaschine oder der Leidener Flasche; Galvanis Entdeckung und Voltas Erfindung erlaubten hinfort eine in hohem Masse verfeinerte Anwendung der Elektrizität.

Für viele der damaligen Ärzte hatten die Forschungen Galvanis aber eine viel umfassendere, theoretische Bedeutung: sie glaubten, in der "tierischen Elektrizität" die Lebenskraft selbst gefunden zu haben. Die von *Cullen* postulierte, den Organismus beherrschende nervöse Energie (vgl. S. 5 f.) schien in dem elektrischen Fluidum Galvanis zur wissenschaftlich fassbaren Realität geworden zu sein. In diesem Sinne äusserte sich 1797 *Alexander von Humboldt* (1769–1859), nachdem er selbst über 1000 elektrophysiologische Versuche (zum Teil am eigenen Körper) ausgeführt hatte[137]. Nach Humboldts Ansicht hatte Galvani tatsächlich das aktive Prinzip des lebenden Nervs entdeckt. Er bezeichnet dieses *galvanisches Fluidum,* weil es der gewöhnlichen, anorganischen Elektrizität zwar ähnlich, aber nicht mit ihr identisch sei: seine Fortleitung werde durch die Unterbindung eines Nervs verhindert, während die Ausbreitung der eigentlichen Elektrizität auf eine solche rein mechanische Art ja nicht zu hemmen wäre[138].

Im Jahre darauf versuchte der Jenaer Physiker *Johann Wilhelm Ritter* (1776 –

1810), den "Beweis, dass ein beständiger Galvanismus den Lebensprozess im Thierreich begleite" (so betitelte er seine Abhandlung) zu erbringen. Ritter war einer der vielen Anhänger der Naturphilosophie *Friedrich Wilhelm Joseph Schellings* (1775–1854). Aus physiologischen Experimenten und naturphilosophischen Spekulationen entwikkelte er Gedankengänge, die uns zum Teil ganz modern anmuten: er erklärte, dass der tierische Körper ein System unendlich vieler, auf die mannigfachste Art ineinandergreifender, beständig wirkender galvanischer Ketten sei. Daraus ergebe sich ein neues Verständnis zahlreicher physiologischer Erscheinungen und therapeutischer Wirkungen. Im übrigen werde sich erweisen, dass das "System der Elektrizität" und das System der Chemie letztlich eins seien .....

Schelling selbst entnahm der Elektrizitätslehre den (schon lange vor Galvani geläufigen) Begriff der Polarität: die biologischen wie die kosmischen Phänomene liessen sich fast alle anscheinend zwanglos auf irgendwelche Polaritäten zurückführen.

Die Entwicklung der Neurophysiologie im 19. Jahrhundert wurde durch die Konstruktion des ersten *Galvanometers* durch *Etienne G. Robertson* (1763–1837) in Paris begünstigt [139]. Dieses Instrument arbeitete mit der elektrolytischen Gasabscheidung im Wasser. 1827 wies *Leopoldo Nobili* mit einem verbesserten Galvanometer am unverletzten Froschleib einen elektrischen Eigenstrom nach, den "konstanten Froschstrom" [140], den er freilich unrichtig interpretierte. *Carlo Matteucci* entdeckte 1841 den *Ruhe- oder Verletzungsstrom* [141] des Muskels, der auf der Potentialdifferenz zwischen einer verletzten Stelle und der unverletzten Oberfläche beruht. In den 1840er Jahren erweiterten die experimentellen Forschungen *Emil du Bois-Reymonds* das Wissen über die Elektrophysiologie des Muskels, und 1850 gelang es *Hermann Helmholtz* (1821–1894), die Leitungsgeschwindigkeit des Nerven zu messen[142].

Die Aktionspotentiale der Muskeln und des Nervensystems haben in unserem Jahrhundert für die ärztliche Diagnostik eine gewaltige Bedeutung erlangt, seit der holländische Physiologe *Wilhelm Einthoven* (1860–1927) mit seinem Saitengalvanometer ihre exakte Aufzeichnung und Analyse möglich machte. Zur Elektrokardiographie und Enzephalographie traten in jüngster Zeit die Elektroretinographie und die Elektromyographie. Am Anfang all dieser subtilen elektrodiagnostischen Methoden stehen die Arbeiten Galvanis.

Für die *Elektrotherapie* war die Entdeckung der tierischen Elektrizität und die Erfindung des "galvanischen" Elementes kein revolutionäres Ereignis. Immerhin trat nun der Gedanke an mögliche Heilwirkungen der Elektrizität auf den Gesamtorganismus mehr und mehr in den Hintergrund. Je besser man die elektrischen Phänomene kennenlernte, desto mehr verlor die Elektrizität den Nimbus einer Panazee, den sie in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts eine Zeitlang besessen hatte[143].

Die Veröffentlichung der "Cellularpathologie" *Rudolf Virchows* (1821–1902) im Jahre 1858, die im Grunde eine Zellular-Biologie [144] war, beschleunigte die Beschränkung der Elektrotherapie auf die lokale Behandlung erkrankter Muskeln und Nerven mit Strömen niederer Spannung. Die hochgespannte Elektrizität der unbequemen vorgalvanischen Elektrisiermaschinen spielte während mehr als hundert Jahren keine Rolle mehr in der Medizin: erst die Einführung der Kurzwellentherapie im Jahre 1932 durch *Erwin Schliephake* [145] (geb. 1894) liess sie in veränderter Form wieder aktuell werden. Die ersten Beobachtungen "nervöser Elemente" im Herzen als Ursache seiner Automatie *(Robert Remak* und *Alfred Wilhelm Volkmann* 1844, *Carl Ludwig* 1848) stellten den Ausgangspunkt für die faszinierendste und segensreichste Nutzanwendung der Elektrotherapie und später der Elektronik in der Medizin dar: der Schrittmacher der Herztätigkeit. Bereits am 17. Januar 1803 hatte *Giovanni Aldini* in London versucht, elektrische Ströme zur Wiederbelebung am Herzen eines 26jährigen hingerichteten Mörders anzuwenden[146]. Er hatte sich dazu einer starken Volta'schen Säule bedient. Moderne Autoren nennen daher den Neffen Galvanis den Pionier der Schrittmachertherapie[147].

Zusammenfassung

Im *ersten Kapitel* werden die Vorstellungen über die Nervenfunktion vom Altertum bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts kurz dargelegt. Die antike Pneuma- oder Spirituslehre wurde um die Mitte des 17. Jahrhunderts von der Nervensafthypothese verdrängt; diese wandelte sich im 18. Jahrhundert zum Konzept der Nervenkraft. Die Entdeckung der Bioelektrizität durch Galvani schloss diese Entwicklung ab, die der Arzt Alkmeon von Kroton mit der Lokalisation des Verstandes und der Empfindungen im Hirn bereits im 5. Jahrhundert v. Chr. eingeleitet hatte.

Im *zweiten Kapitel* kommen Persönlichkeit, Privatleben, praktisch-ärztliche Tätigkeit und akademische Laufbahn Galvanis zur Sprache. Erst in den letzten Lebensjahren griff die Politik in seine Existenz ein: als gläubiger Katholik weigerte sich Galvani, den Treueid auf die Cisalpinische Republik zu leisten; infolgedessen verlor er seinen Lehrstuhl an der Universität Bologna.

Das *dritte Kapitel* befasst sich mit Galvanis Werken. Es betont die grosse Vielseitigkeit des Bologneser Wissenschaftlers als Physiker, Anatom und Physiologe. Seine Arbeiten über Muskelbewegungen, "tierische Elektrizität", die Entdeckung der Bioelektrizität und ihre Vorgeschichte werden ausführlich beschrieben. Zu dieser Beschreibung gehört eine gründliche Analyse seines Meisterwerkes.

Das *vierte Kapitel* ist der Kontroverse Galvani – Volta gewidmet. Nach einer kurzen Biographie Voltas wird die Polemik über die Existenz der Bioelektrizität dargestellt, die zur Erfindung der Volta'schen Säule (der ersten Form eines galvanischen Elementes) führte und Galvani zwang, durch neue Experimente am Nerv-Muskel-Präparat unwiderlegbar zu beweisen, dass die tierischen Gewebe selbst Sitz elektrischer Potentiale sind. Im Anschluss daran werden die Beiträge Fabbronis und Aldinis zur Überbrückung des Gegensatzes gewürdigt.

Das *fünfte Kapitel* zeigt in aller Kürze die Bedeutung der Forschungen Galvanis und Voltas für die weitere Entwicklung der Medizin auf. Die Hoffnung mancher Zeitgenossen, mit der "tierischen Elektrizität" sei der Schlüssel zum Verständnis des Lebens gefunden, hat sich zwar nicht erfüllt. Seit Galvani und Volta kann jedoch der Arzt und der Physiologe mit elektrischen Strömen arbeiten. Von Galvani leitet sich die moderne Elektrophysiologie her, welcher die Praxis wichtige diagnostische Methoden wie Elektrokardiographie und Elektroenzephalographie verdankt. In Galvanis Neffen Aldini hat die heutige Schrittmachertherapie des Herzens ihren Vorläufer.

1) Für dieses Kapitel bin ich der umfassenden Darstellung von *K.E. Rothschuh* verpflichtet: Vom spiritus animalis zum Nervenaktionsstrom, Ciba Z., (Wehr, Baden), **8**, 2950 (1958)

2) *Castiglioni A.,* Storia della medicina, Verona 1948, Bd. **1**, S. 122

Koelbing, H.M., Zur Sehtheorie im Altertum: Alkmeon und Aristoteles, *Gesnerus* (Aarau), **25**, S. 6 ff (1968)

3) *Temkin, O.,* On Galen's Pneumatology, *Gesnerus* (Aarau), **8**, 180 (1951)

4) *Koelbing, H.M.,* Servet traditionaliste, *Gesnerus* (Aarau), **23**, 266 (1966)

5) *Hales, E.,* Haemostatique ou la statique des animaux, Genève 1744, S. 75 ff und SS. 80 bis 82, englische Originalausgabe: Hales S., Statical Essays, Bd. **2**: Haemastaticks, London 1733

6) *Belloni, L.,* Die Neuroanatomie von Marcello Malpighi, *Analecta med.- hist.,* **3**, 193 (1968)

7) *Hoffmann, F.,* Medicina rationalis systematica, Teil 1: Philosophia corporis vivi et sani, Halle 1718

8) *Buess, H.,* Zur Entwicklung der Irritabilitätslehre, in: Festschrift für Jacques Brodbeck-Sandreuter, Basel 1942, S. 299

9) *Prochaska, G.,* Adnotationum Academicarum Fasc. III, Prag 1784, SS. 29 und 47, zit. nach Op. cit. sub No. **1**, S. 2967 ff.

10) *Fontana, F.,* Abhandlung über das Viperngift, Berlin 1787, SS. 357 bis 371

11) Die biographischen Angaben entnehme ich hauptsächlich:
a) *Pupilli, G.C.,* Luigi Galvani, *Sci. med. ital.,* **4**, SS. 5 bis 25 (1955)

b) *Castaldi, L.,* Nel bicentenario della nascita di Luigi Galvani, anatomista, ostetrico, fisiologo e primo radiobiologo, *Rif. med.,* **53**, 937 (1937); A l'occasion du deuxième centenaire de la naissance de Luigi Galvani, anatomiste, accoucheur, physiologiste et premier radio-biologiste, *Press med.,* **45**, 1844 (1937)

12) Damals war es Haus Via delle Casse No. 25, heute Via Marconi 13

13) *Portenari, A.,* Della felicità di Padova, Padua 1623, SS. 228 bis 231

14) *Mesini, P.C.,* L'uomo Galvani, l'Avvenire d'Italia, 241, 1937

15) Für die Ausführungen über Galvanis Privatleben und ärztliches Wirken (SS. 6 bis 8) stütze ich mich, zusätzlich zu Pupilli und Castaldi (vgl. Op. cit. sub No. 11), auf die biographischen Studien von *Alibert, Mignani* und *Sirol* (vgl. Literaturverzeichnis)

16) Vgl. Op. cit. sub. No. 11a, SS. 21 und 22

17) *Gherardi, S.,* Rapporto sui manoscritti del celebre professore Luigi Galvani, in: *Galvani, L.,* Opere edite ed inedite, raccolte e pubblicate per cura dell'Accademia delle scienze dell'Istituto di Bologna, Bologna 1841–42, S. 101 des Rapporto. (Der Rapporto ist gesondert paginiert).

18) Vgl. Op. cit. sub. No. 17, S. 115

19) *Galvani, L.,* Memorie ed esperimenti inediti, raccolti e pubblicati per cura di *L. Cappelli,* Bologna 1937

Dieser Band enthält:

I. Vier „Memorie intorno all'elettricità animale"
   a) „Saggio della forza nervea e sua relazione coll'elettricità" vom 25.11. 1782, SS. 3 bis 31
   b) „De animali electricitate" vom 30.10.1786, SS. 33 bis 55
   c) „Electricitatis naturalis" vom 16.8.1787, SS. 57 bis 75
   d) De musculorum motu ab electricitate, vom 30.4.1789, SS. 77 bis 82

II. Die erste vollständige italienische Übersetzung des "De viribus electricitatis in motu musculari" von Enrico Benassi, SS. 85 bis 230

III. Die Versuche (Esperimenti) vom 6. November 1780 bis zum 14. Februar 1783 und vom 26. April 1786 bis zum 25. April 1787, SS. 233 bis 411

IV. Eine Ikonographie Galvanis von Guido Zucchini, SS. 415 bis 434

V. Eine Beschreibung der Manuskripte Galvanis im Besitz der Akademie von Lodovico Barbieri, SS. 435 bis 460

VI. Einen Beitrag zur Bibliographie der handschriftlichen und gedruckten Werke Galvanis von Lodovico Barbieri, SS. 460 bis 480

20) *Galvani, A.,* De ossibus, Theses physico-medico-chirurgicae, Bononiae ex. Typ. SS. Inquisitionis sub signo S. Thomae Aquinatistus 1762

21) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 9 und 10 der "Opere"

Vgl. ferner *Piani D.,* Notizie relative a Luigi Galvani, *Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna,* 4 171 (1853)

22) Vgl. Op. cit. sub 17, SS. 15 bis 25 der "Opere"
vgl. ferner Op. cit. sub No 21 (Piani), S. 172

23) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 22 bis 24 der "Opere"

24) *Koelbing, H.M.,* Der Urin im medizinischen Denken II, Nierenphysiologie unter dem Einfluss Galens, Documenta Geigy, Basel 1967

25) *Koelbing, H.M.,* Der Urin im medizinischen Denken III: Die Niere als Drüse, Documenta Geigy, Basel 1967

26) *Belloni, L.,* Die Eroberung des Nephrons, *Berl. Med.,* 16, 92 (1965)

27) In den Atti der Akademie (Tit. IV, Sez. I, 1767 - 74, G - L) befindet sich das nicht eigenhändige, aber in einer Handschrift der Zeit geschriebene Manuskript. Diese Dissertation wurde in den "Opere", SS. 439 bis 447, veröffentlicht. Siehe auch SS. 69 und 70 des im gleichen Band enthaltenen "Rapporto".

28) Zur Priorität Wepfers vgl. *H. Nigst,* Das anatomisch Werk Johann Jakob Wepfers, Aarau 1947, S. 26 ff. Im übrigen siehe *Castiglioni, A.,* Storia della medicina, Verona 1948, Bd. 2, S. 778

29) *Alibert, J.L.,* Eloge historique de Louis Galvani, in: Mémoires de la Société Médicale d'émulation séante à l'Ecole de Médicine à paris, pour l'an VIII de la République Française, quatrième année, Paris an IX. No. 11, SS. 25 und 162
Vgl. ferner Op. cit. sub. No 11 b S. 938

30) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 33 bis 38 der "Opere"

31) Vgl. Op. cit. sub No. 21 (Piani), S. 172

32) Vgl. Op. cit. sub No. 21 (Piani), S. 172

33) Vgl. Op. cit. sub No. 21 (Piani), S. 173

34) Sentimento del Dottore Luigi Galvani sopra la natura del male da cui sono attaccate le bestie bovine nelle Communità di Vimignano e Savignano, di Vigo e di Verzuno, di Burzanella e di Montagù Ragazza, e di Camugnano (Provincia di Bologna). (In Giornale di medicina veterinaria, 1860, Reihe II, I, SS. 539 bis

551), zitiert nach *Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna,* 12, 25 (1861) und nach Op. cit. sub No. 11 (Pupilli), S. 21

35) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 11 bis 15 des "Rapporto"

36) *Rothschuh, K.E.,* Geschichte der Physiologie, Berlin 1953, S. 110

37) Vgl. Op. cit. sub No. 11 (Pupilli), SS. 20 und 21 und sub No. 17, SS. 45 bis 58 der "Opere". Über *Anna Morandi-Manzolini* siehe *G. Wolf-Heidegger* in: *Wolf-Heidegger* und *Cetto,* Die anatomische Sektion in bildlicher Darstellung, Basel 1967, S. 57 ff.

38) Vgl. Op. cit. sub No. 21, S. 173 (Diese nicht näher bekannten Vorträge werden nur hier von Piani erwähnt).

39) Die Arbeit ist unveröffentlicht; sie wird erwähnt von Piani, Op. cit. sub No. 21, S. 173

40) Vgl. Op. cit. sub No. 19, SS. 77 bis 82; vgl. ferner Op. cit. sub No. 21 (Piani), S. 174

41) Vgl. Op. cit. sub No. 19, SS. 438 und 440

42) *Galvani, L.,* Orazione latina per la laurea di Giovanni Aldini, übers. von A. Chiesa, Bologna 1888

43) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 5 bis 11, S. 27 und SS. 41 und 42 des "Rapporto", ferner Op. cit. sub No. 21 (Piani), S. 173 und 174

44) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 449 bis 458 der "Opere" und SS. 23 bis 25 des "Rapporto"

45) Vgl. *Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna,* 3, 61 bis 73 (1851)

46) Vgl. Op. cit. No. 17, S. 53 des "Rapporto"

47) *Galvani, L.,* De viribus electricitatis in motu musculari commentarius, in: De Bononiensi Scientiarum et Artium instituto atque Accademia Commentarii, Bd. 7, Bologna 1791, SS. 363 bis 418

48) *du Bois-Reymond, E.,* Untersuchungen über thierische Elektrizität, Berlin 1848, Bd. 1, S. 50

49) *Galvani, L.,* De viribus electricitatis in motu musculari commentarius, cum Johannes Aldini dissertatione et notis, Modena 1792

50) Vgl. Op. cit. sub No. 11 (Pupilli), S. 8

51) *Galvani, L.,* Abhandlung über die Kräfte der thierischen Elektrizität auf die Bewegung der Muskeln nebst einigen Schriften der H.H. *Valli, Carminati* und *Volta* über eben diesen Gegenstand, übers. & hg. von *D.J. Mayer,* Prag 1793

52) *Galvani, L.* Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität bei der Muskelbewegung (1791), übers. & hg. von *A.J. Oettinger,* Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 52, Leipzig 1894. Wo wir im folgenden wörtliche Zitate aus dieser Abhandlung bringen, haben wir die Orthographie modernisiert.

53) *Galvani, L.,* De viribus electricitatis in motu musculari commentarius, cum Johannes Aldini dissertatione et notis, Modena 1792, Neudruck, Berlin 1925, W. Junk

54) *Sirol, M.,* Galvani et le galvanisme. L'électricité animale, thèse méd. Toulouse, Paris 1939, SS. 75 bis 124

55) *Galvani, L.,* Commentary on the effect of electricity on muscular motion, übers. von *R. Montraville,* Cambridge, Mass., 1953

56) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 155 bis 276 der "Opere"

57) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 279 bis 296 der "Opere"

58) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 47 bis 50 und 94 bis 98 des "Rapporto"

59) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 301 bis 431 der "Opere"

60) Taccuino delle esperienze del Galvani sulla torpedine fatte a Senigallia ed a Rimini, l'anno 1795 in *Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna,* 9, 177–198 (1869)

61) Vgl. Op. cit. sub No. 21 (Piani), S. 175

Ferner: Dissertazione accademica del Galvani sulla Torpedine, *Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna,* 9, 163 bis 167 *1869)

62) Vgl. Op. cit. sub No. 21 (Piani). S. 175

als "Dissertazione latina sopra l'azione delle Mefiti nel corpo animale" in

Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna, **10**, 478 bis 482 (1870) veröffentlicht.

Siehe ferner: *Predieri, P.,* Di alcuni autografi del celebre professore Luigi Galvani ultimamente rinvenuti, *Mem. Accad. Sci. Ist. Bolgona,* **12**, 29 und 30 (1861)

63) Vgl. Op. cit. sub No. 21 (Piani), S. 175 und Op. cit. sub No. 17, S. 67 des "Rapporto"

64) Vgl. Op. cit. sub No. 62 (Predieri), SS. 35 bis 38

65) *Swammerdam, J.,* Biblia naturae, Leiden 1737, deutsche Ausgabe Leipzig 1752, SS. 334 und 407, Tab. XLIX, Fig. 8

Siehe dazu *Dibner, B.,* Galvani - Volta, a controversy that led to the discovery of useful electricity, Norwalk, Conn., 1952, SS. 7 und 8

66) *Sulzer, J.G.,* Recherches sur l'origine des sentiments agréables et désagréables, Histoire de l'Académie royale des sciences et belles lettres depuis son origine jusqu'au présent, Berlin 1753, S.356
vgl. ferner Op. cit. sub No. 65 (Dibner) SS. 8 und 9

67) *Sue, P.,* Histoire du galvanisme, et analyse des différents ouvrages, publiés sur cette découverte, depuis son origine jusqu'à ce jour, Paris 1805, Bd. 1, SS. 1 und 2

68) Vgl. Op. cit. sub No. 67, Bd. 1, S. 212 ff

69) Vgl. Op. cit. sub No. 17, S. 12 des "Rapporto"

70) Vgl. Op. cit. sub No. 17, S. 11 des "Rapporto", ferner Op. cit. sub No. 19, S. 233

71) Vgl. Op. cit. sub No. 17, S. 12 des "Rapporto", ferner Op. cit. sub No. 19, SS. 383 bis 386

72) Vgl. Op. cit. sub No. 19, SS. 387 bis 396

73) Vgl. Op. cit. sub No. 19, SS. 397 bis 410, ferner Op. cit. sub No. 11 (Pupilli), S. 14 und Op. cit. sub No. 17, SS. 34 bis 40 des "Rapporto"

74) Vgl. Op. cit. sub No. 19, SS. 33 bis 55 und Op. cit. sub No. 17, S. 39 des "Rapporto"

75) Zit. nach Op. cit. sub No. 19, SS. 77 bis 82

76) Vgl. Op. cit. sub No. 52, SS. 4 bis 6

77) Vgl. Op. cit. sub No. 29, S. 36 ff

78) *Arago, F.,* Eloge historique d'Alexandre Volta, in: Biographie diverses d'Arago, un recueil factice des divers éloges prononcés par lui à l'Académie des Sciences (im Besitze der Universitätsbibliothek in Genf), Paris 1831, S. 24

79) Vgl. Op. cit. sub No. 67, Bd. 1, S. 6 ff

80) Vgl. Op. cit. sub. No. 17, S. 16 ff des "Rapporto"

81) Vgl. Op. cit. sub No. 21 (Piani), SS. 172 und 173 und Op. cit. sub No. 17 S. 16 des "Rapporto"

82) Vgl. Op. cit. sub. No. 78, S. 25

83) Vgl. Op. cit. sub No. 17, S. 206 der "Opere" und SS. 102 bis 106 des "Rapporto"

84) Loc. cit. Die letzten fünf Seiten des "Rapporto" enthalten einige Auszüge der öffentlichen Anatomie-Kurse Galvanis (Alcuni passi estratti dalle Lezioni pubbliche d'Anatomia del cel. Galvani) des Jahres 1786, in welchen er seine Überzeugung mitteilt, dass das fluidum nerveum nichts anderes sei als Elektrizität des tierischen Körpers.

85) Vgl. Op. cit. sub No. 52, SS. 6 ff

86) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 22 ff

87) Vgl. Op. cit. sub No. 17, S. 79 der "Opere"

88) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 22 f

89) Hervorhebungen im Zitat durch uns, S. 2

90) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 53 f

91) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 54

92) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 46

93) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 55

94) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 50

95) Vgl. Op. cit. sub No. 54, S. 48

96) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 62 ff

97) *Bertholon, P.,* De l'électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie, Paris 1780, SS. 67 bis 87. In diesem Werk ist das Kapitel VI "De l'électricité propre au corps humain dans l'état de santé" dem neuen theoretischen Begriff "tierische Elektrizität" gewidmet. Galvani nimmt darauf im Op. cit. sub No. 52, S. 45 Bezug.

98) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 64 ff

99) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S 60

100) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 63

101) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 66

102) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 64

103) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 66

104) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 66

105) Vgl. Op. cit. sub No. 52, S. 67

106) Vgl. Op. cit. sub No. 78, S. 2

107) Vgl. Op. cit. sub No. 78, S. 3. Eine recht ausführliche Darstellung der Entwicklung, die zur Entdeckung der Leidener Flasche führte, findet sich im ersten Band des Handbuches der Physik, in dem von *E. Hoppe* verfassten Kapitel: Geschichte der Physik (Springer, Berlin 1926), Neudruck als Monographie 1967, S. 353 ff).

108) Vgl. Op. cit. sub No. 78, S. 38. Eine ausführliche Beschreibung dieser Reise

findet man in der "Relazione del Professore Volta di un suo viaggio letterario nella Svizzera", Milano 1827

109) Vgl. Op. cit. sub No. 78, S. 41 ff: Die Bewunderung Napoleons für Volta blieb so gross, dass er ihn im Jahre 1802 Associé de l'Institut und Offizier der Ehrenlegion werden liess und ihm den Orden der eisernen Krone gab. Im Jahre 1810 ernannte ihn Napoleon zum Grafen und Senator von Italien. Voltas Verdienste waren übrigens in England schon mit der Wahl in die Royal Society gewürdigt worden.

110) *Volta, A.,* Collezione delle opere, Florenz 1816, Bd. 2, Teil 2, SS. 167 bis 227. Die Sammlung, die aus drei Bänden und fünf Teilen besteht, wurde von Vincenzio Antinori herausgegeben und enthält Voltas sämtliche Werke, die fast ausschliesslich in Briefform erschienen.

111) Vgl. Op. cit. sub No. 110, Bd. 2, Teil 2, SS. 281 bis 286. Es ist dies die einzige Schrift Voltas, die sich auf die Anwendung des Galvanismus in der praktischen Medizin bezieht.

112) Vgl. Op. cit. sub No. 78, S. 42

113) Vgl. Op. cit. sub No. 78, S. 46. Lebensbeschreibungen Voltas findet man auch in:

a) *Zuccala, G.,* Elogio morale del Conte Volta, Bergamo 1827

b) *Bianchi, T.,* Della vita del conte Alessandro Volta, patrizio comasco, Como 1829

c) *Scolari, F.,* Alessandro Volta (in Guide bibliografiche, SS. 31 bis 36, Roma 1927)

114) Vgl. Op. cit. sub No. 78, S. 46

115) Vgl. Op. cit. sub No. 17, S. 135 ff der "Opere"

116) a) *Volta, A.,* Schreiben an Herrn D. Baronio, Arzt am Hauptspitale zu Mayland (in *Johann Mayer's* Übersetzung von Galvanis Werk. SS. 158 bis 167, Prag 1793)

b) *Volta, A.,* Briefe über thierische Elektricität 1792–1795, übers. & hg. von *A.J. Oettingen,* Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften, Bd. 114, SS. 3 bis 7, Leipzig 1900

117) Vgl. Op. cit. sub No. 116b, SS. 3 und 4, § 1 bis 4

118) Vgl. Op. cit. sub No. 116b, S. 49

119) Vgl. Op. cit. sub No. 116b, S. 6,§ 16 und § 18

120) Vgl. Op. cit. sub No. 116b, SS. 6 und 7, § 19. Auch hier haben wir die Orthographie modernisiert. (Vgl. Anmerkung sub No. 52)

121) *Galvani, L.,* Brief an Carminati vom 8. Mai 1792 (in Op. cit. sub No. 116a, S. 171). Dieser Brief ist auch in Op. cit. sub No. 17, SS. 141 bis 151 der "Opere" enthalten.

122) *Volta, A.,* Erste Abhandlung über die thierische Elektrizität, Pavia 1792 (in Op. cit. sub No. 116b, S. 8). Die Abhandlung führt den Titel: "Sull'elettricità animale". Sie erschien als Abdruck einer in der Aula der Universität Pavia gehaltenen Promotionsrede im "Giornale fisico-medico del Signor Brugnatelli", Bd. 2, S. 146

123) Vgl. Op. cit. sub No. 116b, S. 73

124) Vgl. Op. cit. sub No. 116b, S. 91

125) Vgl. Op. cit. sub No. 17, S. 157 ff der "Opere"

126) Vgl. Op. cit. sub No. 116b, SS. 106 bis 113

127) Vgl. Op. cit. sub No. 116b, S. 113

128) Vgl. Op. cit. sub No. 11 (Pupilli), S. 16

129) Vgl. Op. cit. sub No. 17, SS. 310 und 311 der "Opere"

130) Vgl. Op. cit. sub No. 17, S. 94 ff des "Rapporto"

131) Memoria II, allo Spallanzani (1797); Op. cit. sub No. 17, SS. 322 und 323

132) Vgl. Op. cit. sub No. 11 (Pupilli), S. 16

133) Vgl. Op. cit. sub No. 54, S. 60

134) Vgl. Op. cit. sub No. 54, SS. 68 bis 71, ferner Op. cit. sub No. 67, Bd. 1,

Kap. VIII, S. 9 und SS. 229 bis 234, § III. Pierre Sue gibt uns an dieser Stelle seiner "Histoire du galvanisme" eine Zusammenfassung des Werkes Fabbronis "Sull'irritazione metallica e sull'azione chimica dei differenti metalli tra loro," Florenz 1792

135) *Westphal, H.W.,* Lehrbuch der Physik, Berlin 1947, S. 311

136) *Aldini, G.,* Theoretisch-praktischer Versuch über den Galvanismus, Leipzig 1804, Bd. 1, S. 69 ff

137) *v. Humboldt, F.A.,* Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser nebst Vermutungen über den chemischen Prozess des Lebens in der Thier- und Pflanzenwelt, Posen und Berlin 1797, 2 Bde.

138) Vgl. Op. cit. sub No. 137, Bd. 1, S. 424 ff

139) *Schmid, A.,* Zur Geschichte der Elektrotherapie vom Altertum bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, S. 114, Festschrift für Jacques Brodbeck-Sandreuter, Basel 1942, SS. 73 bis 121

140) *Rothschuh, K.E.,* von Boerhaave bis Berger, Die Entwicklung der kontinentalen Physiologie im 18. und 19, Jahrhundert, Stuttgart 1964, S. 87 ff.

141) Vgl. Op. cit. sub No. 140. S. 88 ff

142) Vgl. Op. cit. sub No. 140, S. 71

143) Vgl. [*Ackerknecht, E.H.,*] Panazeen, in: Fundamente moderner Medizin, Documenta Geigy, Basel 1964

144) *Koelbing, H.M.,* Rudolf Virchow und die moderne Pathologie, *Münch, med. Zschr.,* 110, 349 (1968)

145) Vgl. Op. cit. sub No. 139, SS. 105 und 106

146) *Carpue, J.C.,* An Introduction to Electricity and Galvanism, with Cases Shewing Their Effects in the Cure of Diseases, S. 90 ff, London 1803

Vgl. ferner *Aldini, G.,* Theoretisch-praktischer Versuch über den Galvanismus, Leipzig 1804, Bd. 2, S. 37 ff.

147) Vgl. [*Gilder, S.,*] Schrittmacher, in: Elektronik und Medizin, Documenta Geigy, Basel 1965

BIBLIOGRAPHIE

ACKERKNECHT, E.H., Panazeen, in: Fundamente moderner Medizin Documenta Geigy, Basel 1964.

ALDINI, G., Theoretisch-praktischer Versuch über den Galvanismus 2. Bde., Leipzig 1804.

ALIBERT, J.L., Eloge historique de Louis Galvani, in: Mémoires de la Société Médicale d'émulation séante à l'Ecole de Médecine à Paris, pour l'an VIII de la République Française, quatrième année, Paris an IX.

ARAGO, F., Eloge historique d'Alexandre Volta, in: Biographies diverses d'Arago, un recueil factice des divers éloges prononcés par lui à l'Académie des Sciences, (im Besitz der Universitätsbibliothek in Genf), Paris 1831.

ASCHOFF, L., DIEPGEN, P. und GOERKE, H., Kurze Übersichtstabelle zur Geschichte der Medizin, 7. Aufl., Berlin 1960.

AUGUSTIN, F.L., Vom Galvanismus und dessen medicinischer Anwendung, Berlin 1801.

BELLONI, L., Die Eroberung des Nephrons, *Berl. Med.*, 16, 92 (1965).

BELLONI, L., Die Neuroanatomie von Marcello Malpighi, *Analecta med.-hist.*, 3, 193 (1968).

BERTHOLON, P., De l'électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie, Paris 1780; 2. Aufl., 2 Bde., Paris 1786.

du BOIS-REYMOND, E., Untersuchungen über thierische Elektrizität, Bd. 1, Berlin 1848.

BUESS, H., Zur Entwicklung der Irritabilitätslehre, in: Festschrift für Jacques Brodbeck-Sandreuter, Basel 1942, S. 299-333.

CARPUE, J.C., An Introduction to Electricity and Galvanism, with Ca-

ses, Shewing Their Effects in the Cure of Diseases, London 1803.

CASTALDI, L., Nel bicentenario della nascita di Luigi Galvani, anatomista, ostetrico, fisiologo e primo radiobiologo, *Rif. med.*, 53, 937 (1937); A l'occasion du deuxième centenaire de la naissance de Luigi Galvani, anatomiste, accoucheur, physiologiste et premier radio-biologiste, *Presse med.*, 45, 1844 (1937).

CASTIGLIONI. A., Storia della medicina, 2 Bde. Verona 1948.

COLWELL, A.H., An Essay on the History of Electrotherapy, London 1922.

DIBNER, B., Galvani - Volta, a controversy that led to the discovery of useful electricity, Norwalk, Conn., 1952.

FABBRONI, G.M., Sull'irritazione metallica e sull'azione chimica dei differenti metalli tra loro, Florenz 1792.

FONTANA, F., Abhandlung über das Viperngift, Berlin 1787.

GALVANI, L., De viribus electricitatis in motu musculari commentarius, in: De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii, Bd. 7, Bologna 1791, S. 363-418; De viribus electricitatis in motu musculari commentarius, cum Joannis ALDINI dissertatione et notis, Modena 1792; deutsche Übers.: Abhandlung über die Kräfte der thierischen Elektrizität auf die Bewegung der Muskeln nebst einigen Schriften der H.H. VALLI, CARMINATI und VOLTA über eben diesen Gegenstand, übers. & hg. von D.J. MAYER, Prag 1793; Abhandlung über die Kräfte der Electricität bei der Muskelbewegung (1791), übers. & hg. von A.J. von OETTINGEN, Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 52, Leipzig 1894; ital. Übers. in: GALVANI, L., Memorie ed esperimenti inediti raccolti e pubblicati per cura di L. CAPPELLI, übers. von E. BENASSI, Bologna 1937, S. 85-230; franz. Übers. in: SIROL, M., Galvani et le galvanisme. L'électricité animale, thèse

méd. Toulouse, Paris 1939, S. 75-124; engl Übers.: Commentary on the effect of electricity on muscular motion, übers. von R. MONTRAVILLE, Cambridge, Mass., 1953.

GALVANI, L., Opere edite ed inedite, raccolte e pubblicate per cura dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, Bologna 1841-42.

GALVANI, L. Orazione latina per la laurea di Giovanni Aldini, übers. von A. CHIESA, Bologna 1888.

GALVANI, L., Memorie ed esperimenti inediti raccolti e pubblicati per cura di L. CAPPELLI, Bologna 1937.

GARRISON, F.H., An Introduction to the History of Medicine, 4. Aufl., Philadelphia 1929, Nachdruck 1961.

(GILDER, S.), Schrittmacher, in: Elektronik und Medizin, Documenta Geigy, Basel 1965.

GRAPENGIESSER, C.J.C., Versuche, den Galvanismus zur Heilung einiger Krankheiten anzuwenden, Berlin 1802.

HALES, E., Haemostatique ou la statique des animaux, Genève 1744; engl. Originalausg.: HALES, S., Statical Essays, Bd. 2: Haemastaticks, London 1733.

HALLE, J.N. und NYSTEN, P.H., Dictionnaire des sciences médicales, Bde. 11 und 17, Artikel: "Electricité" und "Galvanisme", Paris 1815-1816.

HALLER, A., Elementa physiologiae corporis humani, Lausanne 1757-66.

HOFFMANN, F., Medicina rationalis systematica, Teil 1: Philosophia corporis vivi et sani, Halle 1718.

von HUMBOLDT, F.A., Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser nebst Vermuthungen über den chemischen Process des Lebens in der Thier- und Pflanzenwelt, 2 Bde., Po-

sen und Berlin 1797.

JALLABERT, J., Expériences sur l'électricité avec conjectures sur la cause de ses effets, Genève 1748, Paris 1749.

(KOELBING, H.M.), Der Ursprung der Elektrotherapie, in: Elektronik und Medizin, Documenta Geigy, Basel 1965.

KOELBING, H.M., Servet traditionaliste, *Gesnerus (Aarau),* **23**, 266 (1966).

KOELBING, H.M., Der Urin im medizinischen Denken, Documenta Geigy, Basel 1967.

KOELBING, H.M., Rudolf Virchow und die moderne Pathologie, *Münch. med. Wschr.,* **110**, 349 (1968).

KOELBING, H.M., Zur Sehtheorie im Altertum: Alkmeon und Aristoteles, *Gesnerus (Aarau),* **25**, 5 (1968).

MAUDUYT de la VARENNE, P.J.E., Extraits des journaux tenus pour 82 malades qui ont été électrisés, Paris 1779.

MESINI, P.C., L'uomo Galvani, *l'Avvenire d'Italia,* no 241 (1937).

MIGNANI, V., Monografia di Luigi Galvani, Bologna 1879.

NIGST, H., Das anatomische Werk Johann Jakob Wepfers (1620-1695) Aarau 1947

PAOLINI, M., Esperienze fatte colla Robbia su diversi animali, *Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna,* **12**, 77 (1861).

PFAFF, C.H., Über die thierische Elektrizität und Reizbarkeit, Leipzig 1795.

PIANI, D., Notizie relative a Luigi Galvani, *Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna,* **4**, 171 (1853).

PORTENARI, A., Della felicità di Padova, Padua 1623.

PREDIERI, P., Di alcuni autografi del celebre professore Luigi Galvani

ultimamente rinvenuti, *Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna*, 12, 21 (1861).

PUPILLI, G.C., Luigi Galvani, *Sci. med. ital.*, 4, 5 (1955).

PUSCHMANN, T., Handbuch der Geschichte der Medizin, hg. von M. NEUBURGER und J. PAGEL, Bd. 3, Jena 1905.

REIN, H., und SCHNEIDER, M., Einführung in die Physiologie des Menschen, 15. Aufl., Berlin 1964.

RITTER, J.W., Beweis, dass ein beständiger Galvanismus den Lebensprocess im Thierreich begleite, Weimar 1798.

ROTHSCHUH, K.E., Entwicklungsgeschichte physiologischer Probleme in Tabellenform, München 1952.

ROTHSCHUH. K.E., Geschichte der Physiologie, Berlin 1953.

ROTHSCHUH, K.E., Vom Spiritus animalis zum Nervenaktionsstrom, *Ciba Z. (Wehr, Baden)*, **8**, 2950 (1958).

ROTHSCHUH, K.E., Die neurophysiologischen Beiträge von Galvani und Volta, in: Per la storia della neurologia italiana, Atti del Simposio Internazionale di Storia della Neurologia, Varenna 1961, S. 117-130.

ROTHSCHUH, K.E., Von Boerhaave bis Berger. Die Entwicklung der kontinentalen Physiologie im 18. und 19. Jahrhundert, Stuttgart 1964.

SCHMID, A., Zur Geschichte der Elektrotherapie vom Altertum bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, in: Festschrift für Jacques Brodbeck-Sandreuter, Basel 1942, S. 73-121.

SIROL, M., Galvani et le galvanisme. L'électricité animale, thèse méd. Toulouse, Paris 1939.

SUE, P., Histoire du galvanisme, et analyse des différents ouvrages publiés sur cette découverte, depuis son origine jusqu'à ce jour, 4 Bde., Paris 1805.

SULZER, J.G., Recherches sur l'origine des sentiments agréables et désagréables, Teil 3: Des plaisirs des sens, in: Histoire de l'Académie royale des sciences et belles lettres, depuis son origine jusqu'à présent, Berlin 1753, S. 356.

SWAMMERDAM, J., Bibel der Natur, worin die Insekten in Klassen vertheilt, sorgfältig beschrieben und zergliedert, Leipzig, 1752.

TEMKIN, O., On Galen's Pneumatology, *Gesnerus (Aarau)*, 8, 180 (1951).

VOLTA, A., Collezione delle opere .... 3 Bde., Florenz 1816.

VOLTA, A., Briefe über thierische Elektricität (1792, (übers. & hg. von A.J. von OETTINGEN, Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften, Bd. 114, Leipzig 1900.

VOLTA, A., Untersuchungen über den Galvanismus, 1796-1800, übers. & hg. von A.J. von OETTINGEN, Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften, Bd. 118, Leipzig 1900.

WESTPHAL, H.W., Lehrbuch der Physik, Berlin 1947.

WOLF-HEIDEGGER, G., in: WOLF-HEIDEGGER, G. und CETTO, A.M., Die anatomische Sektion in bildlicher Darstellung, Basel 1967. S. 57 ff.